

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

DRIELLE SANCHEZ LEITNER

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO EM EDIFICAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL EM
LIGHT WOOD FRAME: ESTUDO DE CASO NA REGIÃO METROPOLITANA DE
CURITIBA COM AVALIAÇÃO PRÉ-OCUPAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO,
ACÚSTICO, LUMÍNICO E QUALIDADE DO AR

CURITIBA

2019

DRIELLE SANCHEZ LEITNER

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO EM EDIFICAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL EM
LIGHT WOOD FRAME: ESTUDO DE CASO NA REGIÃO METROPOLITANA DE
CURITIBA COM AVALIAÇÃO PRÉ-OCUPAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO,
ACÚSTICO, LUMÍNICO E QUALIDADE DO AR

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Construção Civil, Área de Concentração em Gestão.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Adriana de Paula Lacerda Santos.

CURITIBA

2019

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

L533a

Leitner, Drielle Sanchez

Avaliação de desempenho em edificação de interesse social em Light Wood Frame: estudo de caso na região metropolitana de Curitiba com avaliação pré-ocupação do desempenho térmico, acústico, lumínico e qualidade do ar [recurso eletrônico] / Drielle Sanchez Leitner. – Curitiba, 2019.

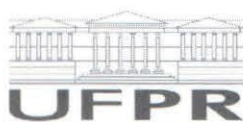
Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, 2019.

Orientador: Adriana de Paula Lacerda Santos .

1. Habitações – projetos e construção. 2. Habitação popular. 3. Light wood frame. 4. NBR 15575. I. Universidade Federal do Paraná. II. Santos, Adriana de Paula Lacerda. III. Título.

CDD: 728.1

Bibliotecário: Elias Barbosa da Silva CRB-9/1894




MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR SETOR DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA DE
CONSTRUÇÃO CIVIL - 40001016049P2

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **DRIELLE SANCHEZ LEITNER** intitulada: **AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO EM EDIFICAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL EM LIGHT WOOD FRAME: ESTUDO DE CASO NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA COM AVALIAÇÃO PRÉ-OCUPAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO, ACÚSTICO, LUMÍNICO E QUALIDADE DO AR.**, após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 29 de Março de 2019.




ADRIANA DE PAULA LACERDA SANTOS
Presidente da Banca Examinadora (UFPR)



SÉRGIO SCHEER

Avaliador Interno (UFPR)



ELOY FASSI CASAGRANDE JUNIOR
Avaliador Externo (UTFPR)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por esta oportunidade e por cada detalhe no caminho.

Aos meus pais, Sirlei e Dago, e as minhas irmãs, Diandra e Dhuanne, pelo apoio incondicional.

Ao Pedro, por ter me acompanhado em todos os momentos.

A minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Adriana de Paula Lacerda Santos, pela orientação, apoio e confiança.

Aos professores e colegas do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil (PPGECC), da Universidade Federal do Paraná (UFPR) que contribuíram para a realização deste trabalho. Pela parceria e amizade, em especial, Valéria, Nathalia e Nicolle.

Agradeço também aos professores da banca pela dedicação e tempo.

A empresa do estudo de caso por permitir que a pesquisa fosse desenvolvida além de compartilhar o material necessário para sua elaboração.

Agradeço a CAPES pelo suporte financeiro.

Por fim, a todos que de alguma forma colaboraram e incentivaram, direta e indiretamente, para a realização deste trabalho.

“Quando abro a porta de uma nova descoberta já encontro Deus lá dentro”
(Albert Einstein)

RESUMO

As edificações *light wood frame* (LWF) fazem parte do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) sendo uma alternativa para a diminuição do déficit habitacional urbano nacional. Nesse contexto, as avaliações de desempenho das edificações são importantes para verificar se sistemas de construção inovadores, como o LWF, atendem os requisitos mínimos de desempenho estipulados em normas e também difundir esse método de construção. Assim, o objetivo desta dissertação foi avaliar o desempenho de uma edificação de interesse social do PMCMV, construída em LWF, na fase de pré-ocupação. O método de pesquisa utilizado foi um estudo de caso único no qual a unidade de análise foi um apartamento. Visou-se assim verificar se o desempenho térmico, acústico, lumínico e da qualidade do ar avaliado está de acordo com o estabelecido na norma de desempenho vigente no país e também com os documentos referentes a construção LWF. Os métodos de avaliação utilizados foram as medições *in loco* e as simulações de desempenho. O desempenho térmico foi dividido em temperatura interna e variação térmica. O primeiro atendeu os requisitos da norma de desempenho tanto na avaliação *in loco* quanto nas simulações. O segundo não é previsto em norma tendo sido avaliado graficamente. O conforto acústico foi avaliado por meio de medições físicas e atendeu os valores de desempenho mínimo quando as medições ocorreram com as janelas fechadas. A iluminação natural foi avaliada por meio de medições *in loco* e simulação de desempenho, conforme previsto na NBR 15575-1. Esse item atendeu a norma tanto na avaliação *in loco* quanto na simulação. Por fim, foi estudada a qualidade do ar, dividida em circulação do ar e umidade do ar. A circulação do ar foi avaliada por meio de análise do projeto, previsto na NBR 15575-4, e atendeu o mínimo necessário. Foi proposto avaliar a umidade do ar por meio da carta climática. Esse estudo resultou na verificação de que a umidade na unidade de análise estava adequada, traduzida pela indicação da zona bioclimática de conforto. Como considerações finais, foi discutida a importância do desenvolvimento de um protocolo de coleta de dados a fim de guiar o processo tanto de medições *in loco* como de simulações de desempenho. Por fim, também foi ressaltada a relevância de uma avaliação de desempenho global e contínua da edificação com a finalidade tanto de estudar a situação real do desempenho da edificação quanto as possibilidades de sua melhoria.

Palavras-chave: Avaliação de desempenho das edificações. *Light wood frame*. Medições *in loco*. Simulação de desempenho. NBR 15575.

ABSTRACT

Light wood frame (LWF) buildings are part of the My House My Life Program (PMCMV), an alternative to reduce the national urban housing deficit. In this context, buildings performance evaluations are important to verify that innovative building systems, such as LWF, meet the minimum performance requirements stipulated in standards and also disseminate this construction method. Thus, the objective of this dissertation was to evaluate the performance of a PMCMV social interest building, built in LWF, in the pre-occupation phase. The research method used was a single case study in which the unit of analysis was an apartment. The aim was to verify if the thermal, acoustic, light and air quality performance evaluated is in accordance with the current performance standard in the country and also with the documents referring to the LWF construction. The evaluation methods used were on-site measurements and performance simulations. The thermal performance was divided into internal temperature and thermal variation. The first one met the requirements of the performance standard both in on-site evaluation and in simulations. The second is not foreseen in standard and has been evaluated graphically. The acoustic comfort was evaluated through physical measurements and met the minimum performance values when the measurements occurred with the windows closed. Natural lighting was evaluated by in situ measurements and performance simulation, as provided in ABNT NBR 15575-1. This item met the requirements of the performance standard both in on-site evaluation and in simulations. Finally, air quality was studied, divided into air circulation and air humidity. Air circulation was assessed through project analysis, foreseen in ABNT NBR 15575-4, and met the minimum required. It was proposed to evaluate the humidity of the air through the climatic chart. This study resulted in the verification that the humidity in the analysis unit was adequate, translated by the indication of the bioclimatic zone of comfort. As final considerations, it was discussed the importance of developing a data collection protocol to guide the process of both on-site measurements and performance simulations. Finally, the relevance of a global and continuous performance evaluation of the building was also emphasized with the purpose of both studying the actual situation of the building performance and the possibilities of its improvement.

Keywords: Building performance evaluation. Light wood frame. On-site measurements. Performance simulation. ABNT NBR 15575.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – SISTEMA INDUSTRIAL FECHADO.....	28
FIGURA 2 – SISTEMA INDUSTRIAL ABERTO	28
FIGURA 3 – PAINEL ESTRUTURAL TIPO PAREDE.....	34
FIGURA 4 – TIPOS DE FUNDAÇÃO UTILIZADAS NO LWF	35
FIGURA 5 – PAREDE LWF PRODUZIDA EM AMBIENTE INDUSTRIAL	37
FIGURA 6 – PAREDE LWF SENDO IÇADA NO CANTEIRO DE OBRAS	37
FIGURA 7 – ESTRUTURA DE UMA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DA EDIFICAÇÃO	45
FIGURA 8 – CICLO VIRTUOSO DO EDIFÍCIO E PROPOSTAS DE AVALIAÇÃO PARA CADA ETAPA DE PROJETO	46
FIGURA 9 – VISUALIZAÇÃO DE UMA DIMENSÃO, CRITÉRIO E SUBCRITÉRIO ..	50
FIGURA 10 – DESCRIÇÃO DOS CRITÉRIOS E SUBCRITÉRIOS DA DIMENSÃO 2	51
FIGURA 11 – O CONCEITO DE CONFORTO: RESPOSTA FISIOLÓGICA A ESTÍMULOS AMBIENTAIS.....	52
FIGURA 12 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA FISIOLOGIA HUMANA E TROCAS TÉRMICAS.....	60
FIGURA 13 – RESUMO DA CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA.....	69
FIGURA 14 – PLANTA DA UNIDADE HABITACIONAL	70
FIGURA 15 – CROQUI SIMPLIFICADO DO EMPREENDIMENTO	74
FIGURA 16 – EDIFÍCIO DA UNIDADE DE ANÁLISE (TORRE 1).....	75
FIGURA 17 – PLANTA SIMPLIFICADA DO PAVIMENTO DA UNIDADE HABITACIONAL.....	75
FIGURA 18 – EXPORTAÇÃO DO MODELO REVIT EM gbXML: VISUALIZAÇÃO DOS AMBIENTES E SUPERFÍCIES ANALÍTICAS, RESPECTIVAMENTE.	88
FIGURA 19 – INCONSISTÊNCIAS GEOMETRICAS NA IMPORTAÇÃO gbXML NO OPENSTUDIO E IDF NO PLUG-IN EUCLID NO SKETCHUP, RESPECTIVAMENTE.	89
FIGURA 20 – EXEMPLO DA LÓGICA DAS MEDIÇÕES DE CONFORTO ACÚSTICO	100
FIGURA 21 – SEQUENCIA DAS MEDIÇÕES DE ILUMINAÇÃO NATURAL	103
FIGURA 22 – CARTA BIOCLIMÁTICA PARA CURITIBA	106

FIGURA 23 – ÍNDICE DE TEMPERATURA-UMIDADE	107
FIGURA 24 – RESULTADOS GRÁFICOS DA FERRAMENTA DIALux evo PARA O DORMITÓRIO 1 - 10 HORAS DO DIA 29/09/2019	115
FIGURA 25 – RESULTADOS GRÁFICOS DA FERRAMENTA DIALux evo PARA O QUARTO 1 - 12 HORAS DO DIA 29/09/2019 E DO DIA 23/10/2018, RESPECTIVAMENTE	118

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – DÉFICIT HABITACIONAL RURAL E URBANO.....	23
GRÁFICO 2 – CRESCIMENTO DO PIB ANUAL E DO PIB ANUAL DA CONSTRUÇÃO CIVIL COM RELAÇÃO AOS VALORES DO ANO DE 1996.....	24
GRÁFICO 3 – VARIAÇÃO TÉRMICA INTERNA E EXTERNA NOS TRÊS CICLOS – DORMITÓRIO 1.....	98
GRÁFICO 4 – VARIAÇÃO TÉRMICA INTERNA E EXTERNA NOS TRÊS CICLOS – DORMITÓRIO 2.....	98
GRÁFICO 5 – VARIAÇÃO TÉRMICA INTERNA E EXTERNA NOS TRÊS CICLOS – SALA.....	99
GRÁFICO 6 – VARIAÇÃO TÉRMICA INTERNA E EXTERNA MEDIDA E SIMULADA – DORMITÓRIO 1.....	121
GRÁFICO 7 – VARIAÇÃO TÉRMICA INTERNA E EXTERNA MEDIDA E SIMULADA – DORMITÓRIO 2.....	121
GRÁFICO 8 – VARIAÇÃO TÉRMICA INTERNA E EXTERNA MEDIDA E SIMULADA – SALA.....	122

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – RELAÇÃO ENTRE AS CATEGORIAS <i>OFF-SITE</i>	31
QUADRO 2 – DISTRIBUIÇÃO DAS FAIXAS DO PMCMV DE ACORDO COM A RENDA FAMILIAR	39
QUADRO 3 – ETAPAS DA PESQUISA DE SOTSEK et al. (2019)	49
QUADRO 4 – ETAPAS DA PESQUISA	71
QUADRO 5 – PROTOCOLO DE COLETA DE DADOS – MEDIÇÕES <i>IN LOCO</i>	78
QUADRO 6 – CICLOS DE MEDIÇÕES DA AVALIAÇÃO PRÉ-OCUPAÇÃO	83
QUADRO 7 – PROTOCOLO DE COLETA DE DADOS – SIMULAÇÕES	86
QUADRO 8 – ESPECIFICAÇÕES TÉRMICAS	91
QUADRO 9 – ESPECIFICAÇÕES TÉRMICAS – LÃ DE ROCHA	92
QUADRO 10 – CRITÉRIOS DE DESEMPENHO TÉRMICO ESTIPULADOS PELA NBR 15575-1	97
QUADRO 11 – AVALIAÇÃO DA TEMPERATURA INTERNA DOS DORMITÓRIOS E SALA.....	97
QUADRO 12 – VALORES DE REFERÊNCIA PARA AMBIENTES INTERNOS DE UMA EDIFICAÇÃO DE ACORDO COM SUAS FINALIDADES DE USO.....	101
QUADRO 13 – RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DE ILUMINAÇÃO NATURAL- PONTO EXTERNO	103
QUADRO 14 – ÁREA MÍNIMA DE VENTILAÇÃO EM DORMITÓRIOS E SALAS DE ESTAR.....	105
QUADRO 15 – RESUMO DOS RESULTADOS DA AVALIAÇÃO PRÉ-OCUPAÇÃO – MEDIÇÕES <i>IN LOCO</i>	109
QUADRO 16 – RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES DO CRITÉRIO CONFORTO TÉRMICO – JANELAS FECHADAS	111
QUADRO 17 – PADRÃO DE OCUPAÇÃO DOS COMÔDOS SEGUNDO O RTQ-R Residencial	112
QUADRO 18 – RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES DO CRITÉRIO CONFORTO TÉRMICO	113
QUADRO 19 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DE ILUMINAÇÃO NATURAL 29/09/2018	116
QUADRO 20 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DE ILUMINAÇÃO NATURAL 23/04/2018 e 23/10/2018	117

QUADRO 21 – QUADRO RESUMO DOS RESULTADOS DA PESQUISA.....	124
---	-----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
APO	- Avaliação Pós-Ocupação
BCL	- <i>Building Component Library</i>
BNH	- Banco Nacional de Habitação
BPE	- <i>Building Performance Evaluation</i>
CBIC	- Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CEF	- Caixa Econômica Federal
CLT	- <i>Cross-Laminated Timber</i>
COHAPAR	- Companhia de Habitação do Paraná
DATEc	- Documento Técnico de Avaliação do Ministério das Cidades
FAR	- Fundo de Arrendamento Residencial
FLD	- Fator de Luz Diurna
FNHIS	- Fundo Nacional de Habitação de Interesse Social
HIS	- Habitação de Interesse Social
LabEEE	- Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
LWF	- <i>Light wood frame</i>
OSB	- <i>Oriented Strand Board</i>
PAC	- Programa de Aceleração do Crescimento
PAR	- Programa de Arrendamento Residencial
PBQP-H	- Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat
PMCMV	- Programa Minha Casa Minha Vida
PNHU	- Programa Nacional de Habitação Urbana
PIB	- Produto interno bruto
POE	- <i>Post-occupancy evaluation</i>
PNAD	- Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios
RSL	- Revisão Sistemática de Literatura
RSU	- Resíduos sólidos urbanos
SiAC	- Sistema de Avaliação da Conformidade de Empresas de Serviços e Obras da Construção Civil
SINAT	- Sistema Nacional de Avaliação Técnica
SNHIS	- Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social
TBS	- Temperatura de bulbo seco

TBU	- Temperatura de bulbo úmido
TRY	- <i>Test Reference Year</i>
UR	- Umidade relativa

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	19
1.1 OBJETIVO.....	21
1.2 JUSTIFICATIVA.....	21
1.3 DELIMITAÇÃO.....	25
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	26
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	27
2.1 INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO CIVIL E PRÉ-FABRICAÇÃO.....	27
2.2 <i>LIGHT WOOD FRAME</i>	31
2.3 HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL (HIS) E O PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA (PMCMV).....	38
2.4 HISTÓRICO DE QUALIDADE E DESEMPENHO NO SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	40
2.4.1 Normas e diretrizes <i>light wood frame</i>	42
2.5 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DAS EDIFICAÇÕES.....	43
2.5.1 Apresentação de um método de avaliação de desempenho de edificações <i>light wood frame</i>	49
2.5.2 Dimensão 2: critérios e subcritérios objetos de estudo da pesquisa.....	51
2.5.2.1 Conforto térmico.....	52
2.5.2.2 Conforto acústico.....	55
2.5.2.3 Conforto visual.....	58
2.5.2.4 Qualidade do ar.....	59
2.6 <i>BUILDING INFORMATION MODELING</i> E AS SIMULAÇÕES DE DESEMPENHO.....	62
3. MÉTODO DE PESQUISA.....	68
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA.....	68
3.1.1 Unidade de análise.....	69
3.2 ETAPAS DA PESQUISA.....	70
3.2.1 ETAPA 1: referencial teórico.....	72
3.2.2 ETAPA 2: escolha dos critérios a serem avaliados.....	72
3.2.3 ETAPA 3: escolha e descrição do estudo de caso.....	73
3.2.4 ETAPA 4: Avaliação pré-ocupação – medições <i>in loco</i>	76
3.2.4.1 ETAPA 4.1: protocolo de coleta de dados das medições <i>in loco</i>	76

3.2.4.2 ETAPA 4.2: avaliação pré-ocupação – medições <i>in loco</i>	82
3.2.5 ETAPA 5: Avaliação pré-ocupação – simulações computacionais	84
3.2.5.1 ETAPA 5.1: protocolo de coleta de dados das simulações computacionais ..	84
3.2.5.2 ETAPA 5.2: avaliação pré-ocupação – modelagem	87
3.2.5.3 ETAPA 5.3: simulação do desempenho térmico.....	91
3.2.5.4 ETAPA 5.4: simulação de iluminação natural	93
3.2.6 ETAPA 6: Resultados e análises da avaliação pré-ocupação por meio de medições em campo e simulações computacionais	95
3.2.7 ETAPA 7: possíveis melhorias e respectivas propostas	95
4. RESULTADOS	96
4.1 AVALIAÇÃO PRÉ-OCUPAÇÃO MEDIÇÕES <i>IN LOCO</i>	96
4.1.1 Conforto térmico.....	96
4.1.2 Conforto acústico	99
4.1.3 Conforto visual	102
4.1.4 Qualidade do ar.....	104
4.1.5 Resumo dos resultados das medições <i>in loco</i>	108
4.2 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO POR MEIO DE SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS	110
4.2.1 Avaliação do desempenho térmico – simulação	110
4.2.2 Avaliação da iluminação natural – simulação	114
4.2.3 Resumo dos resultados das simulações de desempenho	119
5. ANÁLISE DOS RESULTADOS	120
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	125
6.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	126
6.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS CRITÉRIOS AVALIADOS, O MÉTODO DE SOTSEK ET AL. (2019) E A NBR 15575	127
6.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE O ESTUDO DE CASO	128
6.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE O PROTOCOLO DE COLETA DE DADOS.....	129
6.5 CONSIDERAÇÕES SOBRE A AVALIAÇÃO PRÉ-OCUPAÇÃO EM CAMPO ..	130
6.6 CONSIDERAÇÕES SOBRE A MODELAGEM E INTEROPERABILIDADE DE FERRAMENTAS BIM E DE DESEMPENHO	131
6.7 CONSIDERAÇÕES SOBRE A AVALIAÇÃO PRÉ-OCUPAÇÃO POR MEIO DE SIMULAÇÕES.....	131
6.8 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	132

REFERÊNCIAS	134
APÊNDICE A – QUADROS E TABELAS DE SOTSEK et al. (2019)	145
APÊNDICE B – APLICAÇÕES DA INTEGRAÇÃO DO MODELO BIM COM AS FERRAMENTAS DE SIMULAÇÃO	147
APÊNDICE C – MEDIÇÕES EM CAMPO IDENTIFICADAS EM PUBLICAÇÕES	148
APÊNDICE D – EXEMPLO DE FOLHAS DE VERIFICAÇÃO	152
APÊNDICE E – COMPOSIÇÃO DAS PAREDES, PISOS E COBERTURA	155
APÊNDICE F – RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DO CRITÉRIO CONFORTO TÉRMICO.....	156
APÊNDICE G – RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DE CONFORTO ACÚSTICO..	157
APÊNDICE H – RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DE ILUMINAÇÃO NATURAL .	161
APÊNDICE I – RESULTADOS DE UMIDADE RELATIVA DO AR E TEMPERATURA INTERNA.....	162
APÊNDICE J – INTERFACE ANALYSIS BIO (LabEEE).....	163
APÊNDICE K – TABELA DE FERRAMENTAS UTILIZADAS.....	164
APÊNDICE L – COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DAS MEDIÇÕES <i>IN LOCO</i> E SIMULAÇÕES DO CRITÉRIO CONFORTO TÉRMICO	165

1. INTRODUÇÃO

Segundo dados estatísticos da CBIC (2017), o déficit habitacional urbano no Brasil passou de 5,4 milhões em 2015. No ano anterior, 83,9% deste déficit concentrava-se na faixa de renda mensal de até três salários mínimos. Nesse cenário, o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) atua financiando a construção de habitações de interesse social e contempla quatro faixas de renda, que variam de R\$1800,00 a R\$7000,00 (CEF, 2018a).

Apesar do PMCMV contribuir com a redução do déficit habitacional, observa-se ainda um questionamento quanto à qualidade das habitações produzidas (DE ARAGÃO; HIROTA, 2016). Logo, avaliações de desempenho, como as avaliações pré-ocupação, tornam-se interessantes em edificações do PMCMV já entregues.

As avaliações de desempenho das edificações são aquelas que avaliam se o desempenho alcançado pela edificação está de acordo com o proposto pelo projeto, normas e diretrizes ou com o desejável pelo usuário (PREISER; VISCHER, 2005). Esse tipo de avaliação está sendo desenvolvida em pesquisas tanto do mercado quanto da academia, onde podem ser reportadas as disparidades entre o desempenho previsto para as edificações e o desempenho real das edificações (TEIXEIRA; CARVALHO; MARTINS, 2008; AGHA-HOSSEIN; BIRCHALL; VATAL, 2015). No Brasil, a principal norma que baliza o desempenho que deve ser alcançado pelas edificações é a NBR 15575. Dividida em seis partes, a norma estabelece requisitos mínimos de desempenho para os diferentes sistemas de construção (NBR 15575-1 (ABNT, 2013a)).

Nesse contexto, o sistema de construção por meio de pré-fabricados surge como um método construtivo capaz de agregar qualidade ao produto final, além de benefícios como reduzir a quantidade de resíduos gerados, reduzir o consumo de água e energia gastas, além de possibilitar que o tempo de construção seja otimizado (EL DEBS, 2000). As vantagens citadas estão relacionadas com o grau de industrialização presente na pré-fabricação, em contraste com a pouca tecnologia e demanda intensiva de mão-de-obra da construção convencional (IWAKIRI, 2013).

Um dos sistemas de construção pré-fabricada é o *wood frame*, que consiste na construção em painéis sobre estrutura de madeira, sistema utilizado internacionalmente, sendo que 90% das edificações norte americanas construídas usam alguma variação dessa técnica (THALLON, 2008). Atualmente, o sistema

construtivo *light wood frame* (LWF), ou simplesmente *wood frame*, já vem sendo usado em conjuntos habitacionais do PMCMV, regularizado pelos documentos SINAT N° 005 (BRASIL, 2017b) e DATec N° 020-C (BRASIL, 2017a).

Apesar disso, ainda existe muito a ser estudado sobre o desempenho real deste sistema construtivo. Um levantamento feito por Espíndola (2017) quanto a pesquisas sobre o *wood frame* no Brasil de 1979 a 2010, identificou apenas um trabalho focado no desempenho desse tipo de edificações em 2007. Além disso, o sistema construtivo possui norma própria ainda em fase de desenvolvimento (ABNT, 2018).

Nesse sentido, Sotsek et al. (2019) desenvolveram uma pesquisa a fim de identificar os itens essenciais para uma avaliação de desempenho de edificações feitas em *light wood frame*. Inicialmente foram identificados na literatura os critérios e respectivos subcritérios usualmente englobados em uma avaliação de desempenho. A partir dessas informações a pesquisa contou com diversas etapas para descobrir quais desses deveriam estar presentes em uma avaliação de desempenho de uma edificação LWF. Como resultado, chegou-se a 5 dimensões divididas em 19 critérios subdivididos em 42 subcritérios que teriam que ser avaliados (SOTSEK et al., 2019).

Com base nesta pesquisa, foi selecionada a dimensão 2, referente ao conforto térmico, acústico, de iluminação e qualidade do ar, para ser avaliada por meio de um estudo de caso em uma edificação LWF. A dimensão 2 foi a dimensão escolhida como objetivo do estudo de caso por ser a dimensão mais técnica do estudo, possibilitando sua mensuração quantitativa. Além disso, Leitner, Sotsek e Santos (2019) desenvolveram uma revisão sistemática de literatura (RSL) sobre avaliações pós-ocupação (APO), um tipo de avaliação de desempenho das edificações, na qual foram identificados os critérios mais frequentes em uma APO. Os critérios mais frequentes nas APOs estão presentes na dimensão 2 das avaliações de desempenho LWF, o que reforça a importância dessa dimensão.

Por fim, a adoção e condução das avaliações de desempenho das edificações estão de acordo com as mudanças as quais a indústria da construção civil vem buscando a fim de melhorar a qualidade da cadeia produtiva e também sua produtividade (ABIKO; ORNSTEIN, 2002; SANTOS, 2015).

Nesse contexto, o presente trabalho visa responder à seguinte questão de pesquisa: as edificações de interesse social do PMCMV construídas em *light wood frame* atendem o desempenho térmico, acústico, lumínico e da qualidade do ar

indicado pela NBR 15575 (ABNT, 2013a, 2013b, 2013c, 2013d, 2013e, 2013f), SINAT Nº 005 (BRASIL, 2017b) e DATec Nº 020-C (BRASIL, 2017a) na fase de pré-ocupação?

1.1 OBJETIVO

O objetivo geral desta dissertação é avaliar o desempenho de uma edificação de interesse social do Programa Minha Casa Minha Vida, FAIXA 2, em *light wood frame* na fase de pré-ocupação a fim de verificar se o desempenho térmico, acústico, lumínico e da qualidade do ar avaliado está de acordo com o estabelecido nas normas e diretrizes pertinentes (NBR 15575 (ABNT, 2013a, 2013b, 2013c, 2013d, 2013e, 2013f), SINAT Nº 005 (BRASIL, 2017b), DATec Nº 020-C (BRASIL, 2017a)).

Os critérios a serem avaliados pertencem a dimensão 2, proposta no estudo de Sotsek et al. (2019), referente ao conforto térmico (temperatura interna e amplitude térmica), conforto acústico (ruído interno e externo), iluminação natural, e qualidade do ar (ventilação e umidade).

Os objetivos específicos traçados foram:

- Realizar avaliação pré-ocupação por meio de medições *in loco* para os subcritérios da dimensão 2;
- Realizar avaliação pré-ocupação por meio de simulações computacionais de desempenho para os subcritérios da dimensão 2, quando previsto na norma NBR 15575 (ABNT, 2013a, 2013b, 2013c, 2013d, 2013e, 2013f);
- Desenvolver um protocolo de coleta de dados para as medições *in loco* e para as simulações;
- Desenvolver a modelagem da edificação a fim de viabilizar a simulação computacional de desempenho.

1.2 JUSTIFICATIVA

O setor da construção civil é o maior responsável pela geração de resíduos sólidos urbanos (RSU). Segundo o Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2010), em 2010 o volume dos resíduos de construção e demolição gerados representava 61% de todos os RSU, sendo aqueles originados tanto de construções novas quanto de reformas e demolições. Informações mais recentes apontam que a indústria da construção civil é responsável por produzir, pelo menos, 50% dos resíduos do país

(CARDOSO, 2017).

Análises de índices de geração de resíduos mostram que o *ranking* dos materiais é liderado pelos produtos cimentícios e cerâmicos, seguidos da madeira, usada para escoramentos e estruturas temporárias. Além disso, algumas das tarefas que mais produzem entulhos são a alvenaria de blocos, revestimentos em argamassas, contrapisos e revestimentos cerâmicos (SINDUSCON-SP, 2015).

Nesse contexto, a utilização de elementos pré-fabricados mostra-se uma alternativa eficaz na redução dos índices de geração de resíduos e então na geração de resíduos provenientes da construção civil. Como decorrência do uso desse método construtivo há a eliminação de elementos provisórios como formas e escoras podendo reduzir em cerca de 50% o volume gerado de resíduos de madeira. Além disso há a mitigação de práticas como quebra da alvenaria para embutimento de instalações (SINDUSCON-SP, 2015).

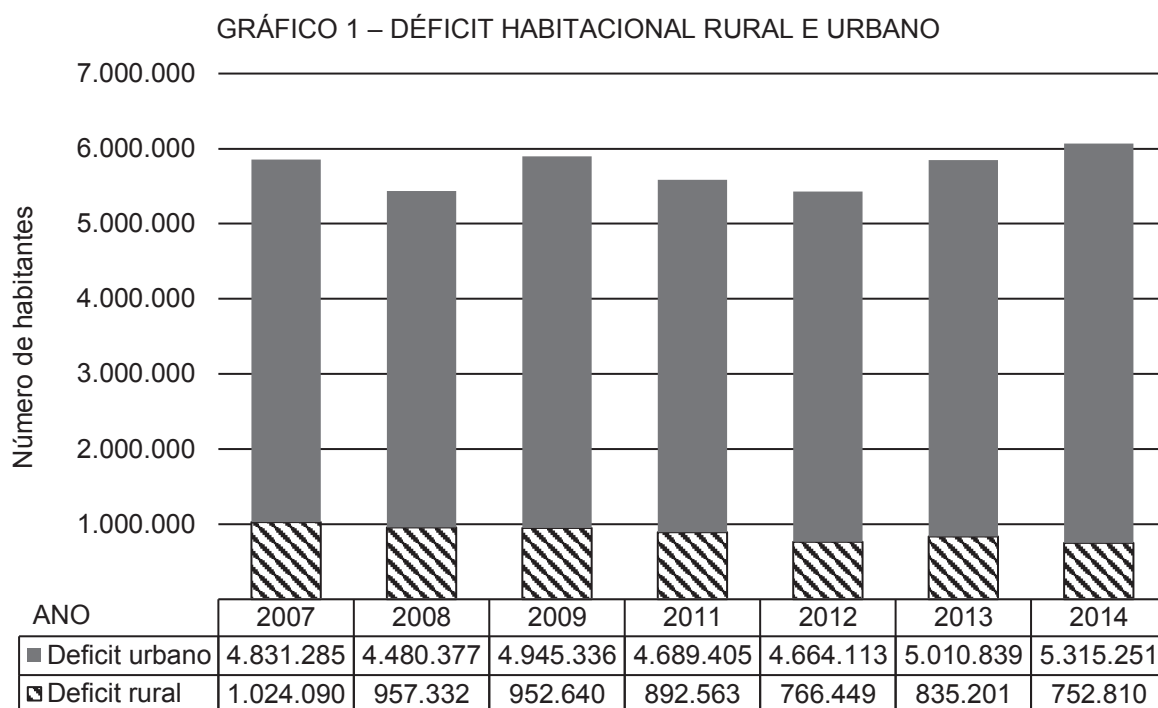
Ademais, com o desenvolvimento de uma avaliação de desempenho das edificações torna-se possível averiguar os impactos ambientais causados pela edificação e verificação da eficiência energética (VILLA; SARAMAGO; GARCIA, 2015). Para Leaman, Stevenson e Bordass (2010), a avaliação do desempenho ambiental, que pode englobar o comportamento energético e eficiência da água, por exemplo, é uma das três perspectivas possíveis em uma avaliação de desempenho.

Neste contexto, a inserção de avaliações de desempenho das edificações pode contribuir para uma mudança na filosofia da indústria da construção, com a verificação da qualidade ambiental e do conforto ambiental dos ocupantes fazendo parte do ciclo da construção (VILLA; SARAMAGO; GARCIA, 2015).

Em relação ao contexto social vale salientar que a moradia é um direito social dos cidadãos sendo dever do país incentivar construções dessa finalidade e a melhoria das condições habitacionais e de saneamento básico, como descrito nos artigos sexto e vigésimo terceiro da Constituição (BRASIL, 1988), respectivamente. Nesse contexto, o governo federal criou programas para promover a construção de habitações de interesse social (HIS), sendo o principal deles o PMCMV, lançado em 2009 (VILLA; SARAMAGO; GARCIA, 2015).

Apesar disso, analisando os valores do déficit habitacional geral brasileiro de 2007 a 2014, é notado o seu aumento gradativo, ou seja, a quantidade de famílias em condições de moradia inadequadas foi crescendo ano a ano (IBGE, 2007, 2008, 2009, 2011, 2012, 2013, 2014). Segundo os dados do IBGE disponibilizados nas edições

anuais da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD), o déficit habitacional do meio rural diminuiu gradativamente de 2007 a 2014, porém o aumento do déficit habitacional urbano foi mais expressivo, resultando em um aumento geral no déficit habitacional, como pode ser observado no GRÁFICO 1. As informações referentes ao ano de 2010 não foram divulgadas.



FONTE: Baseado na PNAD-IBGE (2007, 2008, 2009, 2011, 2012, 2013, 2014).

Isto posto, a construção pré-fabricada é uma alternativa construtiva capaz de permitir eficiência na geração de habitações, além de promover inovação e capacitar a mão de obra nacional. Araújo (2009) argumenta que o uso de novas tecnologias racionais na construção estimula a melhoria da mão de obra, o que resulta em um aumento na qualidade final do produto, além de maior produtividade. Como resultado, o produto final atinge parâmetros de qualidade superiores aos encontrados anteriormente podendo haver redução nos custos.

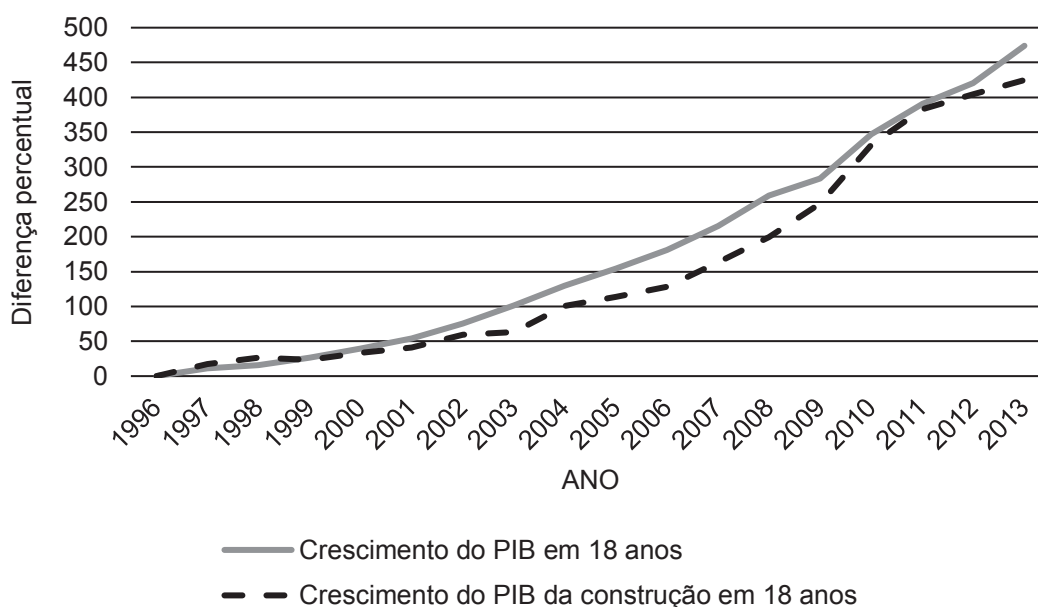
Ainda assim, o desenvolvimento de uma avaliação de desempenho da edificação faz-se necessário a fim de “avaliar a situação desses conjuntos habitacionais na realidade atual, seu impacto em termos de habitação social irradiando nas vizinhanças e na cidade, a satisfação de seus usuários e as eventuais demandas latentes.”, principalmente no caso de programas de interesse social (ROMÉRO; ORNSTEIN, 2003, p.14). Com isso objetiva-se oferecer moradias com

condições ambientais adequadas a atender um público heterogêneo (ROMÉRO; ORNSTEIN, 2003).

Em relação a dimensão econômica vale citar que o produto interno bruto (PIB) é um índice que quantifica a atividade econômica de um país considerando os setores de agropecuária, indústria e serviços. Essas três áreas principais são subdivididas em vinte que, juntas, traduzem a atividade econômica do país. Uma dessas é a construção civil, que constitui importante contribuição para o PIB nacional. Isso pois, historicamente, a economia da indústria da construção segue um crescimento similar à economia do país (GRÁFICO 2) o que também influencia no crescimento econômico de outros setores (SOUZA et al., 2015).

É preciso administrar os recursos envolvidos na indústria da construção civil de forma a impactar positivamente outros setores. Porém, o grande volume de resíduos de construção e demolição gerados resultam em custos na administração de resíduos. Nesse sentido, a substituição do sistema de construção tradicional pelo pré-fabricado, mesmo que parcialmente, possibilita que gastos referentes a gestão dos resíduos sejam reduzidos. Essa substituição poderia também contribuir com a diminuição no número de unidades coletoras que devem ser construídas, custos relativos a atividades de fiscalização, e então no custo final de atividades corretivas para o município (BRASIL, 2010).

GRÁFICO 2 – CRESCIMENTO DO PIB ANUAL E DO PIB ANUAL DA CONSTRUÇÃO CIVIL COM RELAÇÃO AOS VALORES DO ANO DE 1996



FONTE: Adaptado de SOUZA et al. (2015).

A condução de avaliações pré-ocupação, assim como outras avaliações de desempenho, também pode contribuir para a redução no custo das construções uma vez que a prática possibilite a redução de falhas desde a fase de projeto o que pode resultar no aumento do controle de qualidade sobre os processos de produção e uso de ambientes construídos (ROMÉRO; ORNSTEIN, 2003). Segundo Preiser, White e Rabinowitz (2015), as avaliações de desempenho têm o potencial de beneficiar a indústria da construção por meio da melhoria da qualidade das construções o que pode resultar na valorização da moeda e então benefícios econômicos.

Ademais, desde 2013 o sistema construtivo *wood frame* passou a ter permissão para ser usado em construções de HIS por meio da liberação do Documento Técnico de Avaliação do Ministério das Cidades (DATec) para o uso do *wood frame* desenvolvido pela empresa Tecverde. No ano seguinte, o Governo Federal autorizou o financiamento de empreendimentos *wood frame* pela Caixa Econômica. Essa medida ajuda a reduzir os custos do processo e então incentivar o emprego do método construtivo (ESPÍNDOLA, 2017).

1.3 DELIMITAÇÃO

O presente estudo está restrito a habitações de interesse social construídas de forma industrializada em *light wood frame*. O estudo é centrado na fase pré-ocupação das construções, porém também foram estudados projetos a fim de levantar informações sobre a edificação em questão. Não são detalhados os processos produtivos nesta pesquisa. Fatores como as vantagens e desvantagens do método construtivo em questão são citados, porém não são aprofundados. Não são estudados outros métodos de construção pré-fabricada como o *light steel frame*, a construção em perfis leves de aço.

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação é organizada em seis capítulos:

- No capítulo 1 são apresentados a introdução do tema, o problema de pesquisa, os objetivos, as justificativas do trabalho, além da delimitação da pesquisa e por fim sua estrutura;
- No capítulo 2 é apresentada a revisão bibliográfica, composta pelo referencial teórico a respeito da industrialização da construção civil e pré fabricação, método construtivo *light wood frame*, habitações de interesse social e o Programa Minha Casa Minha Vida, histórico de qualidade na construção civil e normas e diretrizes específicas para o método construtivo *light wood frame*, avaliação de desempenho de edificações, critérios a serem avaliados em uma avaliação de desempenho de uma edificação *light wood frame*, e por fim, o uso do *Building Information Modeling* e o desenvolvimento de simulações de desempenho no contexto do estudo;
- No capítulo 3 é apresentada a estratégia de pesquisa, em que se detalham as características da pesquisa e suas etapas;
- No capítulo 4 são apresentados os resultados das etapas delimitadas no capítulo 3;
- No capítulo 5 é apresentada uma análise dos resultados;
- Já no capítulo 6 são expostas as considerações finais e sugestões de trabalhos futuros são apresentadas;
- Por fim, estão as referências e os apêndices.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica visa relatar os aspectos históricos e conceitos clássicos assim como contextualizar a temática por meio de reflexões atuais relacionadas com a presente dissertação.

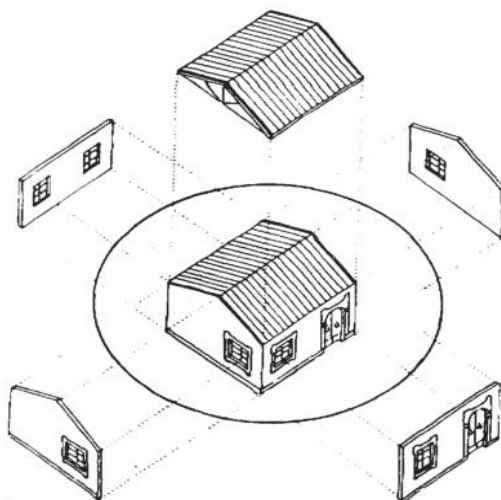
2.1 INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO CIVIL E PRÉ-FABRICAÇÃO

A industrialização da construção civil é a transformação do método construtivo tradicional manual em um método industrial. Os elementos construtivos são produzidos em indústrias e passam por controle de qualidade antes de serem enviados para o local da construção. Essa modificação faz com que as operações realizadas no canteiro de obra (*in-site*) sejam reduzidas o que pode resultar na racionalização dos recursos e aumentar a produtividade e a organização. Essas vantagens são alcançadas devido à presença de gestão de tempo, custos e qualidade envolvidas no processo industrial (ABDI, 2015).

A pré-fabricação é entendida por Bruna (1976) como uma fase da industrialização que compreende a organização da produção, montagem e controle, ou em outras palavras do autor, como a racionalização do sistema de construção. O primeiro elemento pré-fabricado foi o concreto armado que surgiu no período pós-guerra mundial a fim de equilibrar a alta demanda por novas construções com a escassa disponibilidade de mão-de-obra em países europeus (VASCONCELOS, 2002). Atualmente o termo é definido pela NBR 9062 (ABNT, 2017a) como sendo a moldagem dos elementos construtivos em ambiente industrial, fora do local definitivo da estrutura e com controle de qualidade.

Na esfera operacional, as edificações feitas por meio de processos industrializados podem ter dois tipos de sistemas: o sistema industrial de ciclo fechado e o sistema industrial de ciclo aberto. A industrialização de ciclo fechado possui seus processos executados pelo mesmo fornecedor e empresas parceiras. Esse sistema foi desenvolvido pela busca de cada empresa em aumentar a produtividade interna, dessa forma as empresas adotaram métodos diferentes e incompatíveis entre si (BRUNA, 1976). Como resultado esse sistema é caracterizado pelo desenvolvimento de peças construtivas com uso pré-determinado, sem possibilidade de realocação para situações não previstas (MANDOLESI, 1981), como ilustra a FIGURA 1.

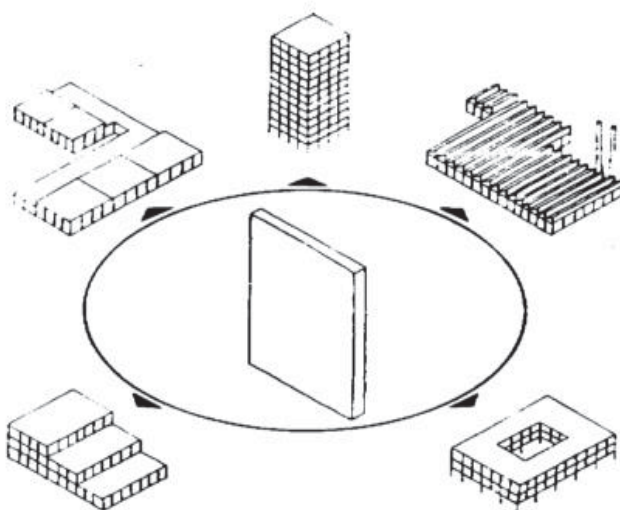
FIGURA 1 – SISTEMA INDUSTRIAL FECHADO



FONTE: MANDOLESI (1981).

Já na industrialização de ciclo aberto os componentes são destinados ao mercado, não sendo limitados a fornecedor único (BRUNA,1976). Os elementos construtivos desse sistema são versáteis podendo ser alocados em diferentes projetos (MANDOLESI, 1981), como ilustra a FIGURA 2.

FIGURA 2 – SISTEMA INDUSTRIAL ABERTO



FONTE: MANDOLESI (1981).

Segundo Salas (1988), as construções europeias pré-fabricadas feitas entre 1950 e 1970, eram do tipo ciclo fechado, contando com fornecedor único de fabricação dos elementos. Porém, a partir de 1970, com a ocorrência de acidentes nas construções realizadas, esse tipo de ciclo entrou em declínio e muitas das edificações já concluídas tiveram que ser demolidas. A partir desse momento a pré-fabricação foi

alterada para de ciclo aberto, com o uso de elementos de vários fornecedores compatíveis entre si. Essa mudança estimulou a padronização e então a compatibilização entre componentes e fornecedores, ajudando na propagação do método pela Europa.

No Brasil, o aparecimento dos elementos pré-fabricados não foi justificado pela situação pós-guerra como nos países europeus. Desde 1920 haviam sido feitas construções pré-fabricadas, porém, para a ABCI (1986), estes foram eventos isolados e não representativos. Foi no começo da década de 60 que o método construtivo surgiu como forma de racionalizar e industrializar a construção. Nesta época, devido a incentivos de empresários, o país apostou na pré-fabricação como forma de resolver o déficit habitacional com a construção do Banco Nacional de Habitação (BNH) (ABCI, 1986). Porém, edificações do fim da década de 70 e início da década de 80 apresentaram problemas construtivos significativos, vindo a ser demolidas e manchando a imagem da pré-fabricação, que só voltou a crescer na década de 90 com o crescimento da cidade de São Paulo (OLIVEIRA, 2002).

Para Nascimento e Santos (2003) o atraso da indústria da construção civil brasileira em comparação a outros setores pode ser justificado pelo investimento tardio do Estado, que aconteceu na década de 70, não incentivando inovações.

Elliot (2002) fala sobre um terceiro sistema de pré-fabricação, o sistema de pré-fabricação de ciclo flexibilizado, no qual não apenas os elementos estão em um ciclo aberto, mas também o sistema como um todo, o que possibilita o uso de vários métodos construtivos na mesma edificação.

Atualmente a industrialização e pré-fabricação ressurgem com outra abordagem: reconhecidas como capazes de reduzir a quantidade de resíduos gerados, reduzir o consumo de água e energia gastas, além de otimizar o tempo de construção e agregar qualidade ao processo (EL DEBS, 2000). Além disso, a pré-fabricação mostra-se uma forma de atender às exigências da sociedade, não satisfeita com os métodos construtivos tradicionais caracterizados por sua longa duração de obra, perda de materiais e baixa qualidade no processo, fatores esses que resultam em gastos não previstos (BORJEGHALEH; SARDROUD, 2016).

Nesse contexto, os termos construção *off-site*, que é a construção fora do canteiro de obra, pré-fabricação e construção industrializada vêm sendo discutidos com a prerrogativa de representar alternativas mais sustentáveis e produtivas para as edificações se comparados com os sistemas tradicionais de construção (ZHAI; REED;

MILLS, 2014; ZHANG; SKITMORE; PENG, 2014; MAO et al., 2016).

Existem ainda outros termos relacionados às construções fora do canteiro de obras (GIBB, 2001) que são frequentemente utilizados (GIBB; ISACK, 2003), e devem ser compreendidos a fim de evitar incoerências entre definições (GIBB, 2001). Dessa forma lista-se as principais definições pertinentes a esse tipo de construção:

- Pré-fabricação: é o processo de manufatura de elementos construtivos fora do local definitivo da edificação, normalmente em ambiente industrial (TATUM; VANEGAS; WILLIAMS, 1986);
- Pré-montagem: é a montagem dos elementos pré-fabricados antes da instalação na sua posição final (GIBB; ISACK, 2003; GIBB, 1999);
- Fabricação *off-site*: representa a fabricação das subpeças (pré-fabricação) e montagem em subpeças maiores (pré-montagem) e ocorre em ambientes diferentes daquele da construção (GIBB, 1999);
- Produção *off-site*: é a produção da construção pré-fabricada. É a etapa em que as partes da construção chegam em obra e são instaladas em suas posições finais (EMMITT; GORSE, 2010).

Considerando a quantidade de atividades feitas fora da obra, as construções *off-site* podem ser divididas em quatro categorias. Esse tipo de construção pode também ser híbrido contando com componentes pertencentes a categorias *off-site* distintas (GIBB, 1999; GIBB; ISACK, 2003). A seguir são descritas essas categorias sendo a primeira categoria exposta a que apresenta o menor número de atividades executadas fora do canteiro de obra:

- Submontagem de componentes: é composta por pequenos elementos construtivos fabricados *off-site*, como janelas, por exemplo;
- Pré-montagem não volumétrica: engloba elementos que foram previamente unidos formando peças não volumétricas como painéis;
- Pré-montagem volumétrica: similar a anterior abrangendo unidades que possuam volume, como banheiros e escadas pré-fabricados;
- Construção modular: representam unidades prontas, chamadas de módulos, cuja união forma a construção.

As categorias apresentadas podem ser associadas com proporções de fabricação *off-site* e redução no tempo de construção se comparadas com construções tradicionais. Os valores podem ser observados no QUADRO 1.

QUADRO 1 – RELAÇÃO ENTRE AS CATEGORIAS *OFF-SITE*

Parâmetros	Submontagem de componentes	Pré-montagem não volumétrica	Pré-montagem volumétrica	Construção modular
Proporção de atividades <i>off-site</i>	10 – 15%	15 – 25%	30 – 50%	60% – 70%
Redução no tempo de construção	10 – 15%	20 – 30%	30 – 40%	50% – 60%

FONTE: Adaptado de LAWSON, OGDEN e GOODIER (2014) (tradução nossa).

Além disso, quanto mais processos forem realizados em ambiente de fábrica maior será o potencial de redução de custos, com proveitos na qualidade e cronograma de obra. Para que isso seja feito são necessários planejamento e capacidade de padronização na produção *off-site*, uma vez que seja a padronização dos componentes que possibilite a repetição na produção e então a redução nos custos, como exposto por Gibb (1999).

2.2 *LIGHT WOOD FRAME*

O sistema construtivo *light wood frame* (LWF), ou popularmente *wood frame*, é uma das alternativas de pré-fabricação disponíveis no mercado da construção civil que tentam competir com a alvenaria tradicional brasileira (MOLINA; CALIL JUNIOR, 2010). O *wood frame* surgiu há mais de 150 anos nos Estados Unidos onde rapidamente se tornou o sistema construtivo predominante para casas e outros edifícios de pequena escala. Nos dias atuais, mais de 90% das edificações norte americanas utilizam alguma variação do LWF (THALLON, 2008). Para Thallon (2008), o principal fator para a grande adesão ao sistema construtivo é a sua flexibilidade, uma vez que o LWF viabiliza praticamente qualquer forma ou estilo de construção.

No Brasil, as construções em madeira estiveram presentes desde o período indígena, passando pela colonização portuguesa, imigração de centro-europeus e japoneses e também na pós-imigração. Apesar disso, é difícil saber quando esse tipo de construção surgiu no país uma vez que falem registros sobre essas construções e também devido a variações na nomenclatura (ESPÍNDOLA, 2017).

A partir de 2010 o setor da construção civil “iniciou uma transformação positiva impulsionada por ações conjuntas para desenvolver o sistema construtivo *wood frame* no Brasil.” (ESPÍNDOLA, 2017, p.169), que englobou a situação do setor florestal em 2009, que possuíam estoques ociosos de pinus, e o lançamento do PMCMV junto ao SINAT, situação na qual “reorientar a aplicação de serrados de pinus para produtos

da construção civil tornou-se uma alternativa” (ESPÍNDOLA, 2017, p.180). Ademais, foi firmada uma parceria entre o SENAI-PR e Alemanha o que possibilitou a transferência de tecnologia específica do sistema construtivo LWF (ESPÍNDOLA, 2017).

A fim de introduzir o sistema construtivo *wood frame* no Brasil foi criada em 2010, ano que se tornou um marco nesse processo, a Comissão Casa Inteligente. Essa reunia diversos pesquisadores e empresas do setor da construção, ligados ao *wood frame*, tendo sido fundada pela empresa Tecverde (TECVERDE, 2016).

A Tecverde é a empresa pioneira na construção de casas com tecnologia *wood frame* no Brasil, tendo sido idealizada em 2008 e fundada em 2009. A empresa foi responsável por buscar os recursos que se tornariam essenciais para a aplicação do *wood frame* no Brasil, como a parceria SENAI-PR e Alemanha e a criação da Comissão Casa Inteligente. Em 2010 a empresa construiu sua primeira casa em *wood frame* e também implantou sua primeira fábrica (TECVERDE, 2016).

Por ser um sistema inovador o *wood frame* teve que passar por um processo de avaliação de normas internacionais, além de estudos de processos e do produto final. Como resultado foi criada a primeira diretriz SINAT nº 005. Além disso, em um produto inovador, associado ao SINAT deve ser desenvolvido um Documento de Avaliação Técnica (DATec), que indica que o sistema em questão atende as normas nacionais e possui desempenho adequado, tendo esse sido lançado em 2012 (TECVERDE, 2016).

Durante esse processo de introdução e regularização do sistema construtivo no Brasil, foram desenvolvidos os primeiros empreendimentos em *wood frame*, tendo esses sido elaborados por membros da Comissão Casa Inteligente, em específico a empresa Tecverde (ESPÍNDOLA, 2017). Os primeiros empreendimentos foram:

- Em 2010, *Slim*: casa modelo executada pela Tecverde com projeto modular e flexível a ampliações. A casa foi classificada entre as três finalistas do Prêmio Planeta Casa, categoria Materiais de Construção;
- Em 2011, Escritório Verde da Universidade Tecnológica Federal do Paraná: escritório comercial sustentável e centro de pesquisa. Aprovado pela Universidade das Nações Unidas, da ONU, como Centro Regional de Integração Expertise de Educação para o Desenvolvimento Sustentável;
- Em 2012, Núcleo de Sustentabilidade do SENAI: espaço destinado a realização de pesquisas em inovação em tecnologias ambientais. Projeto

premiado no *Regional Centres of Expertise*, em 2014, na categoria *Community Engagement: Mobilising Local Innovations for Sustainable Development*, referente ao engajamento da sociedade quanto a mobilização de inovações locais para o desenvolvimento sustentável (ESPÍNDOLA, 2017).

Por fim, desde 2013 o LWF passou a ter permissão para ser usado em construções de HIS. No ano seguinte, o Governo Federal autorizou o financiamento de empreendimentos *wood frame* pela Caixa Econômica. Essa medida ajuda a reduzir os custos do processo e então incentivar o emprego do método construtivo (ESPÍNDOLA, 2017).

Quanto ao sistema construtivo, Molina e Calil Júnior (2010) o definem como:

“O *wood frame* para casas consiste num sistema construtivo industrializado, durável, estruturado em perfis de madeira reflorestada tratada, formando painéis de pisos, paredes e telhado que são combinados e/ou revestidos com outros materiais, com a finalidade de aumentar os confortos térmico e acústico, além de proteger a edificação das intempéries e também contra o fogo” (MOLINA; CALIL JUNIOR, 2010, p.2).

Os principais subsistemas desse tipo de construção são: fundação, plataforma de piso, paredes e cobertura (ESPÍNDOLA, 2017). As paredes são pré-fabricadas em ambiente industrial e montadas *in loco* sendo fixadas em vigas de madeira do piso feito anteriormente. Dessa forma, a construção pré-fabricada permite que enquanto uma etapa esteja sendo executada em campo a outra esteja em andamento na indústria. As paredes são estruturais e servem de apoio para o próximo piso, ou plataforma, contraventando horizontalmente o sistema, gerando assim um ciclo construtivo (SACCO; STAMATO, 2008).

A estrutura do sistema é feita de perfis leves de madeira maciça de reflorestamento, normalmente *Pinus spp* (MOLINA; CALIL JUNIOR, 2010; SILVA, 2010; BALEN; PANSERA; ZANARDO, 2016) que é permeável ao tratamento preservante, diferentemente do eucalipto (MOLINA; CALIL JUNIOR, 2010), que é muito pouco utilizado (BALEN; PANSERA; ZANARDO, 2016).

Segundo Thallon (2008), em uma construção do tipo *frame* é essencial coordenar os detalhes de um sistema de enquadramento do piso com os do enquadramento da parede. Nos Estados-Unidos a estrutura das paredes é feita usualmente por um sistema de enquadramento do tipo plataforma (*platform framing*),

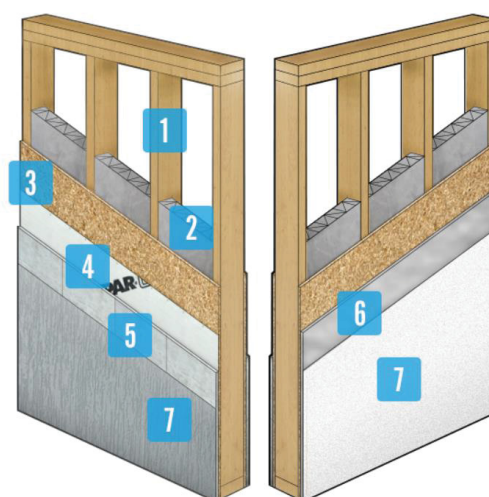
sistema análogo ao utilizado no Brasil, onde a estrutura da parede do espelho para em cada nível e então a estrutura do piso fornece uma plataforma para a construção das paredes do próximo nível. Existe também uma forma mais arcaica de enquadramento das paredes, a *balloon framing*, em que os parafusos são contínuos através dos níveis do piso (THALLON, 2008).

O revestimento é feito por chapas feitas de tiras de madeira unidas com resina e prensadas, as chapas *Oriented Strand Board* (OSB), que também atuam como contraventamento da estrutura (SILVA, 2010). De acordo com a necessidade do local e do usuário, podem ser feitos diferentes tratamentos nessas chapas, além do acréscimo de revestimentos e outros materiais (SILVA, 2010).

A FIGURA 3 ilustra um exemplo de possível composição de camadas de painel de parede, onde:

1. Estrutura de madeira ou montantes;
2. Isolamento termo acústico;
3. Chapa OSB;
4. Membrana hidrófuga;
5. Placa cimentícia;
6. Placa de gesso acartonado;
7. Acabamento.

FIGURA 3 – PAINEL ESTRUTURAL TIPO PAREDE



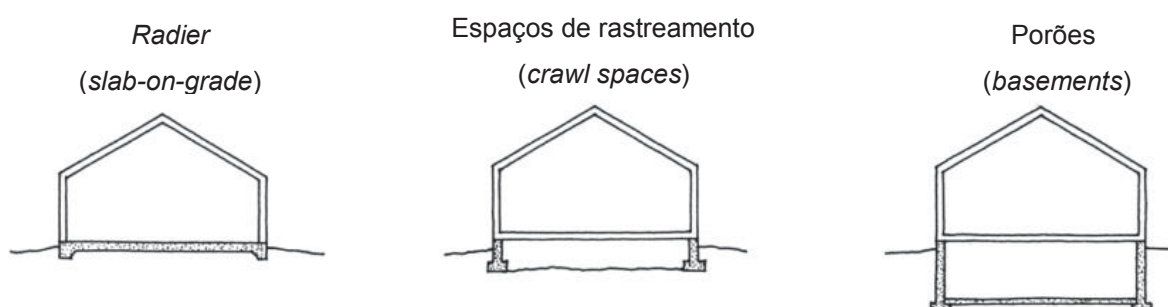
FONTE: TECVERDE (2016).

Por ser um sistema de estrutura leve, o *wood frame* é compatível com diferentes tipos de fundações, que em boa parte das casas industrializadas *wood*

frame, é o único elemento moldado *in loco* (MOLINA; CALIL JUNIOR, 2010). No Brasil a fundação mais comum de ser executada é a do tipo *radier*, fundação menos robusta que pode dispensar a necessidade de execução de lastro de concreto e contrapiso o que resulta em uma economia nos gastos (PEREIRA; VIEIRA, 2015). Esse tipo de fundação, chamada em inglês de *slab-on-grade*, é indicada para climas quentes (THALLON, 2008). Para viabilizar o uso desse tipo de fundação, alguns cuidados devem ser tomados a fim de evitar que a umidade passe do solo para a fundação e então para a estrutura de madeira comprometendo a edificação, e até mesmo o sistema construtivo (ESPÍNDOLA, 2017).

Existem ainda outros tipos de fundações compatíveis com essa construção como o *crawl spaces*, parede de fundação subterrânea feita de concreto ou bloco de concreto, ou a fundação *basements*, porões feitos de cimento ou concreto indicado para climas frios (THALLON, 2008), como pode ser observado na FIGURA 4.

FIGURA 4 – TIPOS DE FUNDAÇÃO UTILIZADAS NO LWF



FONTE: Adaptado de THALLON (2008) (tradução nossa).

Em resumo, o sistema é composto por (MOLINA; CALIL JUNIOR, 2010):

- Fundação: normalmente *radier*;
- Pisos: moldados em fábrica, podem ser placas de OSB, por exemplo;
- Paredes: são estruturais, compostas por montantes verticais de madeira;
- Sistemas elétricos e hidráulicos: embutidos nos vãos internos dos montantes;
- Revestimentos: podem variar de acordo com o uso e local da edificação;
- Contraventamento: feito com a fixação de placas de OSB nas faces externas das paredes de forma que as paredes atuem como elementos de contraventamento da edificação;

- Cobertura: normalmente industrializadas, chegando prontas para fixação no canteiro de obras.

No Brasil, o sistema permite a construção de edificações de até quatro pavimentos, sendo esses o pavimento térreo e outros três pavimentos (DATec Nº 020-C (BRASIL, 2017a)). Em outros países a troca do uso da placa OSB por *Cross Laminated Timber* (CLT) possibilita construções mais altas, de até oito pavimentos (MALESZA; MIEDZIAŁOWSKI, 2017).

Atualmente, os sistemas *wood frame* buscam a industrialização, o que viabiliza construções mais rápidas, com melhor qualidade e confiabilidade estrutural (MALESZA; MIEDZIAŁOWSKI, 2017). Além disso, por ser um sistema pré-fabricado, o *wood frame* também contribui para uma obra limpa e construção seca, com uso mínimo de água no canteiro (MOLINA; CALIL JUNIOR, 2010). O sistema ainda tem outras vantagens como a aplicação da filosofia *lean* de produção, que é a gestão eficiente e de alta qualidade com recursos, instalações e máquinas utilizados de forma a eliminar desperdícios e reduzir custos (WOMACK; JONES; ROOSS, 1992), além de possibilitar a diminuição do tempo de construção em porcentagens superiores a 50% (BALEN; PANSERA; ZANARDO, 2016).

A flexibilidade construtiva do *wood frame* permite que o sistema englobe desde edificações uni ou multifamiliares, de diferentes estilos, sejam eles tradicionais ou modernos, e com diversos padrões de acabamento. Portanto, o *wood frame* pode ser tanto o método construtivo para habitações sociais, quanto para edificações de referência arquitetônica (ALMEIDA DE ARAÚJO et al., 2016).

Apesar das muitas vantagens, o sistema ainda é considerado pouco conhecido no país (BALEN; PANSERA; ZANARDO, 2016), apresentando rara participação na produção anual de casas (MOLINA; CALIL JUNIOR, 2010). Alguns fatores que contribuem para a atual baixa adesão ao uso do *wood frame* são: a carência de mão de obra especializada devida à falta de treinamento de trabalhadores para a tarefa; necessidade de maquinário específico; resistência a mudanças (SOUZA, 2013); preconceito cultural à madeira (SOUZA, 2013; BALEN; PANSERA; ZANARDO, 2016); além da falta de conhecimento técnico e normatização (BALEN; PANSERA; ZANARDO, 2016).

A FIGURA 5 ilustra uma parede pronta, produzida em ambiente industrial. Já na FIGURA 6, outra parede está sendo içada no canteiro de obras.

FIGURA 5 – PAREDE LWF PRODUZIDA EM AMBIENTE INDUSTRIAL



FONTE: TECVERDE (2016).

FIGURA 6 – PAREDE LWF SENDO IÇADA NO CANTEIRO DE OBRAS



FONTE: TECVERDE (2016).

2.3 HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL (HIS) E O PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA (PMCMV)

As HIS são as moradias produzidas para as famílias de baixa renda. Esse tipo de habitação é previsto na Lei nº 11.124, de 2005, com a criação do Sistema Nacional de Habitação Interesse Social (SNHIS) e o Fundo Nacional de Habitação de Interesse Social (FNHIS) (BRASIL, 2017d).

A importância das HIS pode ser entendida uma vez que, segundo dados estatísticos da CBIC (2017), o déficit habitacional urbano no Brasil passou de 5,4 milhões em 2015, sendo que no ano anterior 83,9% deste déficit estava concentrado na faixa de renda mensal de até três salários mínimos.

Neste contexto, o Ministério das Cidades atua desde sua criação em conjunto com o governo federal e agentes sociais a fim de diagnosticar, definir e implementar programas habitacionais. Assim, foram criados diversos programas habitacionais geridos pelo Ministério das Cidades como o Apoio à Provisão Habitacional de Interesse Social, do FNHIS, e o Programa de Arrendamento Residencial (PAR), do Fundo de Arrendamento Residencial (FAR) (BRASIL, 2007a).

Os programas podem intervir para fins variados: construções de habitações; aquisição de habitações novas; aquisição de habitação usada; conclusão, ampliação, reforma ou melhoria de unidade habitacional; aquisição de material de construção; aquisição de lote(s) urbanizado(s); produção de lotes urbanizados; requalificação de imóveis urbanos; urbanização de assentamentos precários; e, desenvolvimento institucional (BRASIL, 2007a).

Ademais, um programa pode atuar em mais de um problema, como, por exemplo, o PAR, que atua tanto na construção de habitações quanto na aquisição de moradias novas e usadas e também na requalificação de imóveis urbanos. Esse programa tem como destinatários finais do programa as famílias com renda mensal de até R\$1.800,00 (BRASIL, 2018b).

O PMCMV, por sua vez, está vinculado a vários programas habitacionais do governo (CNM, 2012). Este objetiva a aquisição de empreendimentos na planta, para famílias de baixa renda, pelo fundo do programa habitacional. O programa prioriza famílias de até três salários mínimos podendo atender famílias com renda de até dez salários mínimos (CEF, 2018b).

O PMCMV foi lançado em 2009, instituído pela Lei nº 11.977, de 2009

(BRASIL, 2017d), com meta de construção de 1 milhão de moradias. Em 2010 ele foi incorporado ao Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), quando houve um substantivo acréscimo de 279 bilhões de reais nos valores de financiamento habitacional para o quadriênio 2011 - 2014 (CNM, 2012). Isso aconteceu pois, de 2007 a 2010, o PAC inclui recursos dos programas desenvolvidos pelo Ministério das Cidades entre os investimentos prioritários (BRASIL, 2007a).

No caso de famílias com renda mensal de até R\$ 1.600,00, o atendimento é feito pelo FAR, o chamado PMCMV Entidades. Já se o objetivo for promover a produção ou aquisição de novas unidades habitacionais, ou a requalificação de imóveis urbanos, para famílias com renda mensal de até R\$ 5.000,00, o responsável é Programa Nacional de Habitação Urbana (PNHU) (CNM, 2012), por exemplo.

O PMCMV atende tanto a demanda urbana por habitações quanto a rural. No caso da demanda urbana o programa é dividido em quatro categorias conforme a renda bruta da família, como pode ser visto no QUADRO 2.

QUADRO 2 – DISTRIBUIÇÃO DAS FAIXAS DO PMCMV DE ACORDO COM A RENDA FAMILIAR

FAIXA	RENDA FAMILIAR
FAIXA 1	R\$ 1.800,00
FAIXA 1,5	R\$ 2.600,00
FAIXA 2	R\$ 4.000,00
FAIXA 3	R\$ 7.000,00

FONTE: CEF (2018a).

As famílias da FAIXA 1 tem até 90% do valor do imóvel custeado pelo programa. O resto do montante pode ser pago em até 10 anos em parcelas que variam de R\$80,00 a R\$270,00 (COHAPAR, 2016).

No estado do Paraná existe ainda o Programa Morar Bem Paraná, desenvolvido e executado pela Companhia de Habitação do Paraná (COHAPAR). O Programa Morar Bem Paraná destina-se prioritariamente a famílias de até seis salários mínimos podendo atender em casos específicos famílias com renda de até dez salários mínimos. O programa atende tanto a demanda por habitações urbanas quanto por rurais tendo como um de seus objetivos a produção e aquisição de novas unidades habitacionais. O Programa Morar Bem Paraná abrange o PMCMV no estado do Paraná (COHAPAR, 2016).

2.4 HISTÓRICO DE QUALIDADE E DESEMPENHO NO SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL

O termo qualidade é conceituado como os aspectos do produto ou serviço que satisfazem as necessidades do usuário. Na construção civil o termo é utilizado para traduzir a satisfação dos usuários quanto a uma edificação ou uma parte dela (ROMÉRO; ORNSTEIN, 2003).

A preocupação com a qualidade na construção civil é bastante antiga, tendo registros sobre o assunto há 4.000 anos no Código de Hamurabi, na Mesopotâmia, (ROMÉRO; ORNSTEIN, 2003). Na Europa o foco na qualidade das edificações teve início a partir da Segunda Guerra Mundial, com a busca de eficiência na reconstrução de cidades e posteriormente, em 1953, com a criação do Conselho Internacional de Construção que foi renomeado para Conselho Internacional de Pesquisa e Inovação na Construção em 1998 (CIB, 2018).

A partir desse momento, começaram a ser desenvolvidos estudos na área de qualidade resultando na elaboração de normas e diretrizes. Com o surgimento da ISO 6241 (ISO, 1984), atualmente substituída pela ISO 19208 (ISO, 2016), surgiu também o conceito de desempenho das edificações e sua avaliação. A norma estabeleceu um conjunto de requisitos que uma edificação deve atender visando a segurança, habitabilidade e sustentabilidade, contribuindo para a melhoria da qualidade na indústria da construção (PIERRARD; AKKERMAN, 2013). Houve também o surgimento da série ISO 9000, referente a gestão da qualidade, que visa a redução dos custos das falhas durante a produção e uso, e também, dos custos de qualidade (ROMÉRO; ORNSTEIN, 2003).

No Brasil a qualidade na construção começou a ser discutida tardiamente (CORDOVIL, 2013). Para Pierrard e Akkerman (2013) isso pode ser explicado uma vez que o contexto econômico no Brasil na década de 80, década em que foi lançada a ISO 6241 (ISO, 1984), não estava favorável para que o país pudesse ponderar sobre o desempenho de edificações.

Em 1996 foi criado o Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), um instrumento do Governo Federal que propõe a organização do setor da construção civil focando na melhoria da qualidade do habitat e na modernização produtiva (BRASIL, 2018a). Em 2000 foi lançado o Sistema de Avaliação da Conformidade de Empresas de Serviços e Obras da Construção Civil

(SiAC), parte do PBQP-H, que tem como objetivo avaliar a conformidade de sistemas de gestão da qualidade de empresas do setor de serviços e obras atuantes na construção civil, contribuindo com a evolução da qualidade, produtividade e sustentabilidade no setor da construção civil (BRASIL, 2017c).

Em 2013 foi lançada pela Associação Brasileira de Normas técnicas (ABNT) a série de normas NBR 15575 "Edificações habitacionais – Desempenho" que buscam atender às exigências dos usuários independentemente dos materiais constituintes da habitação e do sistema construtivo utilizado. A série é composta por seis partes:

- NBR 15575-1 (ABNT, 2013a): a primeira parte da norma descreve os requisitos gerais de desempenho das edificações. Ela pode ser utilizada como um guia para as outras partes da norma. A NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) é utilizada como um procedimento de avaliação do desempenho de sistemas construtivos;
- NBR 15575-2 (ABNT, 2013b): descreve os requisitos de desempenho para os sistemas estruturais analisado do ponto de vista dos estados-limites último e de serviço;
- NBR 15575-3 (ABNT, 2013c): descreve os requisitos de desempenho para os sistemas de pisos;
- NBR 15575-4 (ABNT, 2013d): descreve os requisitos de desempenho para os sistemas de vedações verticais internas e externas;
- NBR 15575-5 (ABNT, 2013e): descreve os requisitos de desempenho para os sistemas de coberturas;
- NBR 15575-6 (ABNT, 2013f): descreve os requisitos de desempenho para os sistemas hidrossanitários.

A série de normas NBR 15575 estabeleceu um marco na busca por um melhor desempenho nas edificações habitacionais (CORDOVIL, 2013). Isso pois, em função das necessidades básicas de segurança, saúde, higiene e de economia, a norma estabelece para os diferentes sistemas requisitos mínimos de desempenho que devem ser considerados e atendidos. São ainda indicados valores de desempenho intermediário e superior (NBR 15575-1 (ABNT, 2013a)).

A partir da publicação da série de normas NBR 15575 diversas pesquisas fizeram o uso dessas para avaliar o desempenho de edificações. Nesse contexto, Sorgato et al. (2014) avaliaram o procedimento indicado na NBR15575-1 (ABNT,

2013a) para simulação do desempenho térmico de edificações residenciais. Já De Brito et al. (2017) apresentam sugestões para aprimorar o método detalhado de avaliação do desempenho térmico de habitações da NBR 15575-1 (ABNT, 2013a).

Outros artigos ainda fizeram avaliações de desempenho em edificações do PMCMV utilizando a NBR 15575-1 (ABNT, 2013a), como em Ferreira (2014), que avalia o desempenho térmico das paredes externas de seis empreendimentos quanto aos valores permitido na norma, e em Batista et al. (2014) que também relacionam o desempenho térmico do PMCMV com a NBR 15575-1 (ABNT, 2013a).

2.4.1 Normas e diretrizes *light wood frame*

No caso das edificações construídas em LWF, a publicação da série de normas NBR 15575 influenciou na criação e atualização de documentos específicos para o método construtivo. Nesse contexto estão o SINAT nº 005 (BRASIL, 2017b), e o DATec nº020C (BRASIL, 2017a).

Os documentos do SINAT baseiam-se no conceito de desempenho do PBQP-H e visam criar diretrizes técnicas para produtos inovadores da construção civil, os quais não possuem norma técnica brasileira para análise de desempenho, como é o caso do LWF. O estabelecimento de uma diretriz SINAT possibilita o financiamento pela CEF de construções feitas com sistemas construtivos inovadores (BRASIL, 2007b).

Atualmente em sua segunda revisão, o SINAT nº 005 estabelece diretrizes para a avaliação técnica de sistemas construtivos estruturados em peças leves de madeira maciça serrada, com fechamentos em chapas ou sistemas leves tipo LWF. A diretriz comporta edificações uni ou multifamiliares de até quatro pavimentos. Além de citar e englobar as informações presentes na NBR 15575, o SINAT nº 005 inclui em seu escopo informações específicas do desempenho do sistema construtivo LWF, como a resistência a organismos xilófagos dos componentes da madeira (BRASIL, 2017b). A partir da publicação da diretriz SINAT nº 005, foi possível fazer o financiamento de construções em LWF no Brasil pela CEF (ESPÍNDOLA; INO, 2014).

Já o DATec é o documento que testa a diretriz SINAT segundo as respectivas normas técnicas. No caso do DATec nº020, o produto testado foi o “Sistema estruturado em peças leves de madeira maciça serrada – Tecverde (tipo *light wood framing*)”. Na prática isso significa que a empresa Tecverde é a detentora do DATec

nº020 e então detentora também da tecnologia proposta. Dessa forma, esta empresa pode requisitar o financiamento de construções LWF segundo a tecnologia do DATec nº020 pela CEF. Para fazerem uso desta tecnologia, outras empresas devem que estar aliadas a Tecverde, ou conseguirem uma autorização da empresa (ESPÍNDOLA; INO, 2014).

Além disso, desde 2016 a ABNT instaurou uma comissão de elaboração na norma específica para construções *light wood frame*, composta por várias entidades e profissionais ligados tanto a indústria madeireira quanto a de construção civil. A comissão foi dividida em quatro grupos principais de trabalho (materiais, projeto, execução e desempenho). Com isso a ABNT espera ajudar a determinar um caminho moderno e sustentável para sistemas construtivos (ABNT, 2018).

Por fim, atualmente as construções em LWF no Brasil devem atender as exigências específicas impostas pelo SINAT nº 005 (BRASIL, 2017b) e o DATec nº020C (BRASIL, 2017a).

2.5 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DAS EDIFICAÇÕES

A avaliação de desempenho da construção, do inglês *Building Performance Evaluation* (BPE), é uma abordagem sistemática e rigorosa (MALLORY-HILL; PREISER; WATSON, 2012) que compara o desempenho real de edifícios com critérios explicitamente documentados para o desempenho esperado (PREISER; VISCHER, 2005).

Esse tipo de avaliação engloba uma série de atividades, podendo incluir pesquisa, medições, comparação, avaliação e *feedback*, e acontece em cada etapa do ciclo de vida de um edifício, incluindo planejamento, programação, concepção, construção, ocupação e reciclagem (MALLORY-HILL; PREISER; WATSON, 2012).

O objetivo de uma BPE é alcançar um melhor desempenho do edifício e de melhor qualidade percebida pelos seus ocupantes (PREISER; VISCHER, 2005), além de apoiar uma melhor tomada de decisão resultando assim em um desempenho superior (MALLORY-HILL; PREISER; WATSON, 2012). Esses objetivos podem ser alcançados pois a BPE trabalha por meio da avaliação contínua da edificação e pode ser conceituada como um processo cíclico, aonde a informação é transmitida continuamente o que contribui para suposições de projeto melhor informadas e então melhores soluções (PREISER; VISCHER, 2005).

As avaliações podem ser usadas para identificar e corrigir problemas em edifícios isolados e as lições provenientes dos sucessos e fracassos de muitos estudos podem ser usadas para informar o planejamento, programação, projeto e gerenciamento de futuros edifícios. Dessa forma, a propagação de erros pode ser evitada (MALLORY-HILL; PREISER; WATSON, 2012).

Para Leaman, Stevenson e Bordass (2010) existem três perspectivas diferentes em uma avaliação de desempenho: avaliar se as necessidades dos ocupantes são supridas; avaliar o desempenho ambiental, que engloba normalmente o comportamento energético e eficiência da água; e/ou, avaliar se o edifício faz sentido economicamente.

As BPEs são avaliações multidisciplinares, englobando o conhecimento da indústria da construção civil e arquitetura e também questões sociais diversas. Essa relação não é sempre simples e pode ser um dos complicadores presentes nas avaliações (PREISER; VISCHER, 2005). Mallory-Hill, Preiser e Watson (2012) também ressaltam a extraordinária interdisciplinaridade da BPE, que incorpora a *expertise* de arquitetos, planejadores, gerentes de instalações, psicólogos, sociólogos, antropólogos, geógrafos, entre outros. Essa diversidade fornece aos processos de BPE a profundidade necessária para abordar as complexidades inerentes na relação pessoa-ambiente.

Historicamente, a BPE surgiu como resultado do conhecimento acumulado em anos de estudos de pós-ocupação de edifícios, cujos resultados continham informações importantes para arquitetos, construtores e outros profissionais envolvidos no processo de criação de edifícios. A partir desses conhecimentos foi elaborada uma avaliação que garantisse que o *feedback* fosse aplicado durante todo o processo, para que a qualidade do edifício fosse protegida durante o planejamento e a construção e, mais tarde, durante a ocupação e as operações (PREISER; VISCHER, 2005).

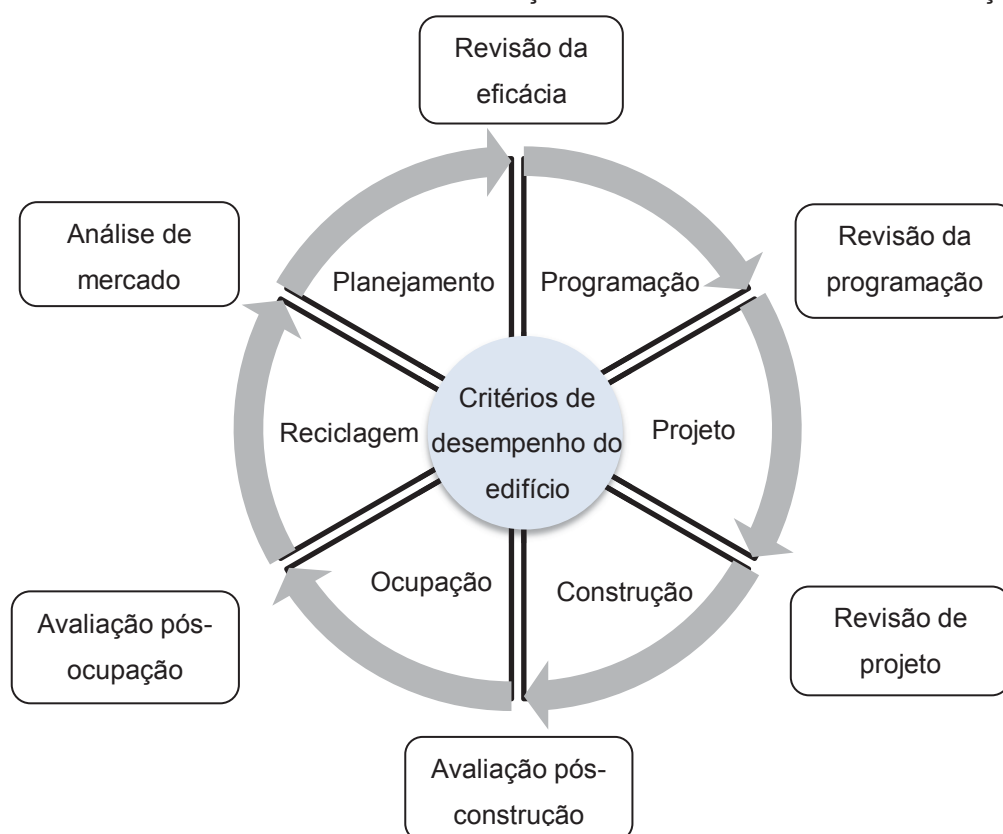
Apesar da BPE compreender todas as fases de uma edificação, normalmente ela é relacionada com a avaliação pós-ocupação (APO), do inglês *post-occupancy evaluation* (POE), que é o ato de avaliar os edifícios de forma sistemática e rigorosa depois de terem sido construído e ocupado por algum tempo. Isso pode ser explicado pois a BPE derivou das APOs (PREISER; VISCHER, 2005) e também pois as APOs são as avaliações de desempenho mais frequentes (AGHA-HOSSEIN; BIRCHALL; VATAL, 2015). Em 1997, a APO foi estendida gerando uma Estrutura Integrativa para

Avaliação de Desempenho de Edifícios (PREISER; SCHRAMM, 1997), a qual inclui as seis fases do ciclo de vida da edificação:

- Planejamento;
- Programação;
- Projeto;
- Construção;
- Ocupação;
- Reciclagem.

A partir da ideia da Estrutura Integrativa para Avaliação de Desempenho de Edifícios surgiu a estrutura de uma avaliação de desempenho da edificação, proposta por Preiser e Schramm (2002), como pode ser observado na FIGURA 7.

FIGURA 7 – ESTRUTURA DE UMA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DA EDIFICAÇÃO



FONTE: Adaptado de PREISER e SCHRAMM (2002) (tradução nossa).

Posteriormente, surgiram outras propostas de avaliação de desempenho do ciclo de vida da edificação. Para Vila, Saramago e Garcia (2016) o ciclo virtuoso do edifício compreende cinco fases da edificação, como pode ser observado na FIGURA 8, juntamente com as propostas de avaliação para cada etapa de projeto.

FIGURA 8 – CICLO VIRTUOSO DO EDIFÍCIO E PROPOSTAS DE AVALIAÇÃO PARA CADA ETAPA DE PROJETO



FONTE: Adaptado de VILLA, SARAMAGO e GARCIA (2016).

Apesar das diferenças é possível observar que entre duas etapas do ciclo de vida de uma edificação pode ser conduzido um tipo de avaliação do desempenho da edificação. Dessa forma, atualmente a APO, assim como as outras avaliações de desempenho da construção, são entendidas como sub processos da BPE. Cada uma dessas avaliações possui seus ciclos internos e podem ser desenvolvidas em edifícios de diferentes idades (novo, em uso, reformado) e com diferentes funções (doméstico, comercial, hospitalar, etc.) (PREISER; VISCHER, 2005).

Assim, cada sub avaliação poderá alcançar resultados diferentes. Estes porém, complementares uns aos outros na busca por uma edificação com melhor desempenho. Ademais, para que o BPE funcione efetivamente, as atividades de coleta e análise de dados são necessárias em todos os estágios (PREISER; VISCHER, 2005).

Com base nas similaridades entre os autores, duas avaliações de desempenho das edificações são destacadas:

- Avaliação pré-ocupação, ou avaliação pós-construção, é a avaliação conduzida depois da finalização da construção e antes da ocupação da edificação;

- Avaliação pós-ocupação é a avaliação de desempenho da edificação conduzida após a ocupação da edificação pelos seus ocupantes.

Dentro de uma avaliação da edificação existem ainda outras variáveis a serem consideradas como o tipo da edificação e as características que serão avaliadas. Quanto ao tipo de edificação a ser avaliada, qualquer edificação pode ter seu desempenho avaliado qualquer que seja a função que a construção cumpra, podendo ser, por exemplo:

- Edificações residenciais (WOO, 2017);
- Edificações universitárias (STRELETS et al., 2016);
- Escritórios (CANDIDO et al., 2016);
- Edificações hospitalares (HASSETT, 2013);
- Escolas (WHEELER; MALEKZADEH, 2015).

Além disso, uma avaliação de desempenho da edificação pode estudar diferentes características da edificação. Assim, a seleção dos critérios que serão avaliados depende do próprio objetivo da avaliação. Em Gou e Siu-Yu Lau (2013), por exemplo, os critérios selecionados foram aqueles referentes ao conforto térmico, uma vez que a pesquisa objetivasse avaliar o desempenho térmico da edificação. Em Candido et al. (2016) a avaliação de desempenho desenvolvida foi mais abrangente englobando diversos critérios como o conforto espacial, o conforto térmico e visual, a privacidade, estética e manutenção da edificação.

Quanto a mensuração dessas características, ou critérios, diversas técnicas podem ser utilizadas. A escolha das técnicas poderá variar com o critério a ser avaliado, equipamentos e instrumentos disponíveis, preferência do profissional responsável e dependerá também do tipo de avaliação que será realizado (pré-ocupação, pós-ocupação, etc.). Algumas das técnicas disponíveis não são compatíveis com todos os tipos de avaliações.

As técnicas incluem medições qualitativas e quantitativas:

A. QUALITATIVAS

- Questionários: usualmente destinados aos usuários finais da edificação sendo que para Sanni-anibire e Hassanain (2016) eles são a parte mais significativa de qualquer estudo de avaliação de construção. Podem também serem destinados a *stakeholders* da edificação e conduzidos em diversas fases do ciclo de vida da edificação. As respostas a perguntas

padrão podem ser comparadas com *benchmarks* e os comentários escritos nos formulários do questionário podem fornecer informações valiosas (BORDASS; LEAMAN; ELEY, 2006);

- *Checklist*: elaboração de uma lista com tópicos a serem verificados (PREISER; VISCHER, 2005);
- *Walkthroughs*: caminhadas no local de estudo a fim de averiguar visualmente a edificação ou local da construção. Podem ser complementadas por registros fotográficos ou de vídeo (SANNI-ANIBIRE; HASSANAIN, 2016). A técnica do *walkthrough* pode ser utilizada para analisar tanto o local da obra, pertinente nas avaliações de planejamento, por exemplo, e posteriormente como técnica para o estudo da construção em andamento e da edificação pronta e ocupada;
- Entrevistas: podem ser feitas com usuários da edificação, *stakeholders* e profissionais envolvidos no empreendimento em diversas fases do ciclo de vida da edificação. Podem preencher o plano de fundo da pesquisa (BORDASS; LEAMAN; ELEY, 2006);
- Reuniões de grupos focais: usadas para extrair informações qualitativas, podendo serem feitas depois que problemas já foram identificados por outros métodos ou como base para o desenvolvimento de outras etapas, como questionários (SANNI-ANIBIRE; HASSANAIN, 2016).

B. QUANTITATIVAS

- Medições físicas de qualidade ambiental interna: técnica objetiva de extração de dados (PREISER; VISCHER, 2005) em que são medidos parâmetros no próprio local da construção. Podem ser utilizados como técnica de avaliação tanto em avaliações pré e pós-ocupação.

Ainda sobre os métodos de coleta de dados, segundo os resultados da revisão sistemática de literatura sobre as variáveis presentes em uma APO desenvolvida por Leitner, Sotsek e Santos (2019), 80% das pesquisas optou pela aplicação de questionários e algum tipo de medição física foi feito em quase 44% dos estudos. Além disso, em mais de metade das pesquisas foram utilizados múltiplos métodos no desenvolvimento das APOs, o que mostrou que as avaliações buscavam um maior grau de confiabilidade de seus resultados, uma vez que, para Bordass, Leaman e Eley (2006), a adoção de múltiplos métodos, qualitativos e quantitativos, na condução de

uma APO pode contribuir para um resultado mais próximo da realidade.

Por fim, para Preiser e Vischer (2005), o interessante do BPE é poder avaliar um mesmo critério mensurado em diferentes fases da edificação, podendo esses terem sido mensurados também de diferentes formas e com diferentes técnicas. Porém, para alguns critérios essa comparação não é simples, ou até possível.

Existem também barreiras a serem ultrapassadas na condução de avaliações de desempenho. Nesse sentido, Mallory-Hill, Preiser e Watson (2012) falam sobre a necessidade de encontrar maneiras de inserir adequadamente esse tipo de avaliação no dia-a-dia da construção, de forma que as avaliações façam parte efetivamente da construção civil.

2.5.1 Apresentação de um método de avaliação de desempenho de edificações *light wood frame*

Diante das variáveis inerentes a uma avaliação de desempenho de edificação, Sotsek et al. (2019) desenvolveram um estudo que identificou os critérios que deveriam ser avaliados em uma avaliação de desempenho específica para edificações LWF. Neste estudo foi desenvolvido um método para avaliação de desempenho de edificações de interesse social em LWF na América Latina, com foco no Brasil, que foi dividido em quatro etapas, conforme pode ser visto no QUADRO 3.

QUADRO 3 – ETAPAS DA PESQUISA DE SOTSEK et al. (2019)

ETAPA	ETAPA 1	ETAPA 2	ETAPA 3	ETAPA 4
OBJETIVO	Identificar critérios de desempenho	Validar critérios específicos LWF	Validar os subcritérios específicos LWF	Gerar pesos
AÇÕES	Consulta à literatura	Questionário (Simpósio de Madeira & Construção)	Delphi com especialistas LWF	Questionário (Reunião da equipe responsável pela elaboração da norma de LWF no Brasil)
	Normas de desempenho			
	Certificações de desempenho ambiental	Análise fatorial	Análise fatorial	Elaboração da escala de pesos
	Normas e diretrizes LWF			
RESULTADOS	Identificação de 22 critérios e 79 subcritérios	Validação de 21 critérios	Validação de 42 subcritérios (19 critérios)	Escala de pesos
		Agrupamento em 6 dimensões	Agrupamento em 5 dimensões	

FONTE: Baseado em SOTSEK et al. (2019).

A primeira etapa da pesquisa foi a identificação dos critérios utilizados por outros autores, tanto em BPEs quanto em APOs, por meio de revisões sistemáticas da literatura. Ainda utilizou-se de normas de desempenho e certificações ambientais, tanto nacionais quanto internacionais, para levantar os critérios de desempenho presente nestes documentos. No âmbito do Brasil foram utilizados a NBR 15575 (ABNT, 2013a, 2013b, 2013c, 2013d, 2013e, 2013f), o SINAT nº 005 (BRASIL, 2017b) e o DATec nº020C (BRASIL, 2017a). Como resultado desta primeira etapa foram selecionados 22 critérios, subdivididos em 79 subcritérios (SOTSEK et al., 2019).

A segunda etapa da pesquisa foi a validação dos critérios específicos para construções LWF, que aconteceu por meio da condução de questionários. Como resultado, 21 critérios foram validados. As respostas passaram então por uma análise fatorial exploratória que agrupou os critérios em 6 dimensões, segundo o grau de importância atribuído por meio das médias geradas pela aplicação do questionário (SOTSEK et al., 2019). Nesse contexto foi estabelecido que uma dimensão era um grupo de critérios e um critério um grupo de subcritérios (FIGURA 9).

FIGURA 9 – VISUALIZAÇÃO DE UMA DIMENSÃO, CRITÉRIO E SUBCRITÉRIO



FONTE: Baseado em SOTSEK et al. (2019).

Já a terceira etapa visou validar os subcritérios e foi desenvolvida por meio da aplicação da técnica Delphi, que é um instrumento utilizado para auxiliar a tomada de decisão de forma coletiva. O procedimento foi feito *online* e após quatro rodadas os especialistas chegaram em um consenso, que é o objetivo da Delphi, que dos 79 subcritérios 42 seriam adequadas em uma avaliação de desempenho específica para construções LWF (SOTSEK et al., 2019).

A redução nos subcritérios resultou na eliminação de critérios, ação que ocorreu quando todos os subcritérios de um critério não eram validados. Com isso foi

necessário refazer a análise fatorial exploratória. Essa segunda análise resultou na organização dos, agora, 19 critérios e 42 subcritérios em 5 dimensões.

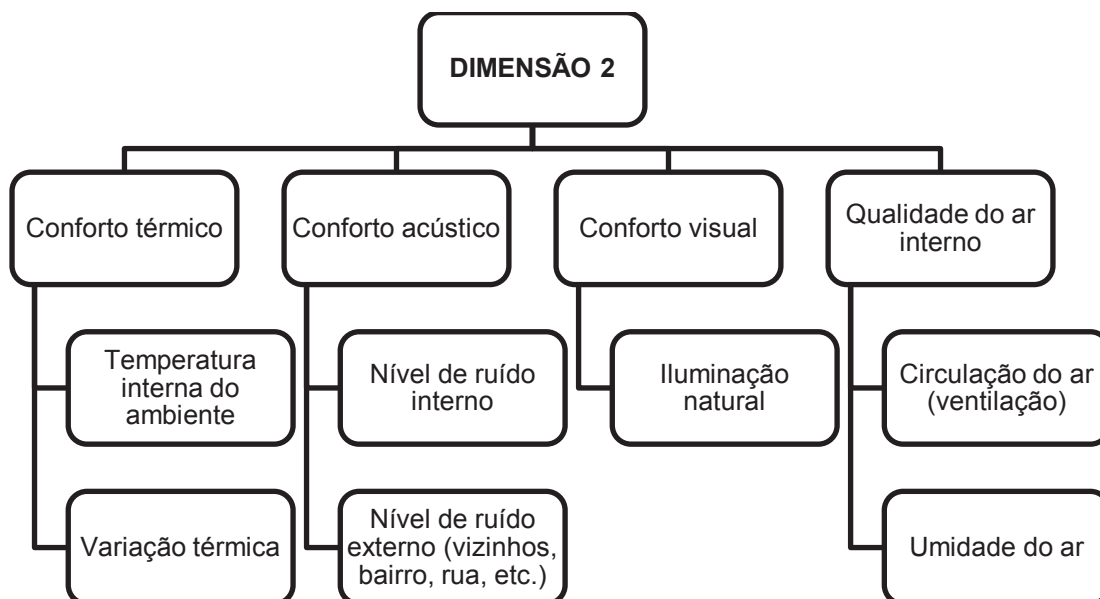
Por fim, foram atribuídos pesos que puderam demonstrar quais critérios e subcritérios eram mais importantes no contexto indicado. Essa foi a quarta etapa da pesquisa, que foi desenvolvida com auxílio de questionários aplicados durante reunião da equipe responsável pela elaboração da norma brasileira de LWF.

Em resumo, foram identificados os critérios e os subcritérios para uma avaliação de desempenho de uma edificação LWF, e estes foram organizados em cinco dimensões por meio de uma análise fatorial exploratória. Por último, foram gerados pesos para cada critério. Das dimensões estabelecidas aquela que tem maior importância para uma avaliação de desempenho de uma edificação LWF, se for considerado o peso dado pelos especialistas, é a dimensão 4, com 68 pontos, seguida pela dimensão 2, com 42 pontos. As dimensões de Sotsek et al. (2019), critérios, subcritérios e respectivos pesos, podem ser observados no APÊNDICE A (p. 145).

2.5.2 Dimensão 2: critérios e subcritérios objetos de estudo da pesquisa

A partir do método de avaliação de desempenho para edificações LWF foi escolhido avaliar o desempenho dos critérios, e respectivos subcritérios, da dimensão 2 na presente pesquisa. Esta dimensão é composta por quatro critérios e sete subcritérios, conforme pode ser visto na FIGURA 10.

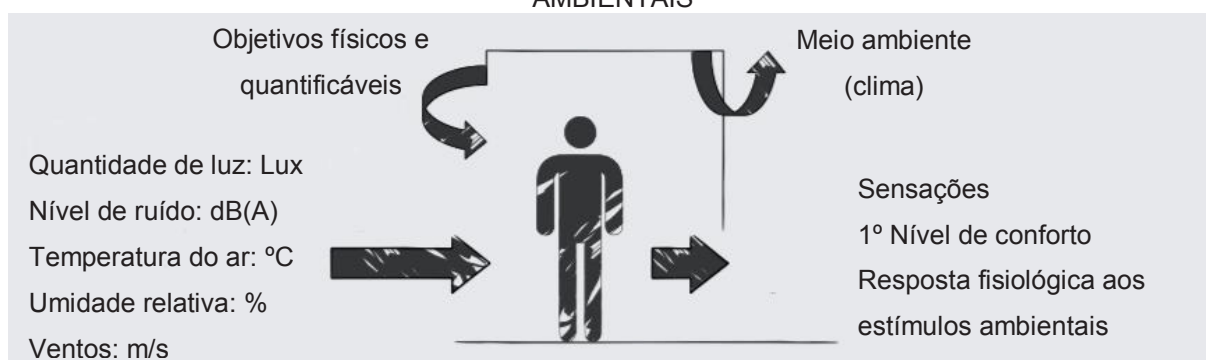
FIGURA 10 – DESCRIÇÃO DOS CRITÉRIOS E SUBCRITÉRIOS DA DIMENSÃO 2



FONTE: Baseado em SOTSEK et al. (2019).

Diversos critérios da dimensão 2 estão relacionados com o conforto ambiental da edificação, sendo esse composto pelo conforto acústico, térmico, de iluminação e de ergonomia. Segundo OSRAM (2006), o conforto está relacionado com as respostas fisiológicas do ser humano exposto a um ambiente, como mostra a FIGURA 11. Quanto menor for o esforço de adaptação do indivíduo, maior será sua sensação de conforto. Dessa forma, ao construir uma edificação deve-se pensar em atender os requisitos do usuário para assim alcançar uma edificação com maior conforto ambiental (OSRAM, 2006).

FIGURA 11 – O CONCEITO DE CONFORTO: RESPOSTA FISIOLÓGICA A ESTÍMULOS AMBIENTAIS



FONTE: OSRAM (2006).

2.5.2.1 Conforto térmico

O primeiro critério da dimensão é o conforto térmico que, segundo a ASRHAE *Standard 55* (ASRHAE, 2017), é o estado da mente que expressa satisfação do homem com o ambiente térmico que está ao seu redor. As exigências humanas de conforto térmico estão relacionadas com o funcionamento de seu organismo, de forma que sua temperatura interna se mantenha da ordem de 37°C, o que é conhecido como homeotermia. Em um ambiente no qual o ocupante consiga manter sua temperatura estável e próxima da adequada, sua capacidade de trabalho é potencializada. Dessa forma, é função das edificações prezarem pelo conforto térmico dos seus ocupantes (LAMBERTS et al., 2016).

Para Lamberts et al. (2011), o conforto térmico depende de fatores físicos, fisiológicos e psicológicos, o que o torna subjetivo. Sua avaliação pode ser feita de forma tanto qualitativa como quantitativa.

A série de normas NBR 15575 apresentam um tópico sobre desempenho térmico, sendo que na NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) é estabelecido um procedimento

normativo e outro procedimento informativo para avaliação da adequação de habitações quanto a esse quesito. De acordo com o procedimento normativo, chamado também de procedimento 1, devem ser desenvolvidas avaliações de transmitância térmica e capacidade térmica, conforme os critérios e métodos estabelecidos na NBR 15575-4, para paredes externas, e NBR 15575-5, para coberturas. Essas avaliações são feitas por meio de cálculos estabelecidos pela NBR 15220-2. Caso essas avaliações resultem em desempenho térmico insatisfatório, deve ser então avaliado o desempenho térmico da edificação como um todo pelo método da simulação computacional.

Quanto a avaliação de desempenho térmico por simulação computacional, a norma apresenta os requisitos, critérios e métodos que devem ser respeitados na elaboração desta atividade. A determinação das propriedades térmicas dos materiais (condutividade térmica, calor específico, densidade de massa aparente, emissividade, absorptância à radiação solar, resistência ou transmitância térmica de elementos, características fotoenergética) e sistemas construtivos são indicadas em norma. A ferramenta indicada para a condução das simulações é o EnergyPlus.

Quando necessárias simulações, esses requisitos devem ser utilizados a fim de avaliar o desempenho térmico das edificações no verão e no inverno, sendo que, em ambos os casos, os resultados devem indicar condições térmicas no interior do edifício melhores ou iguais às do ambiente externo. Para o caso da cidade de Curitiba, inserida na zona bioclimática 1, a temperatura interna máxima em um dia típico de verão não deve exceder a temperatura externa máxima. Já para inverno, a temperatura interna mínima, em um dia típico de inverno, deve ser pelo menos três graus Celsius mais elevada que a externa.

Dessa forma, por meio da condução de simulações, poderia ser avaliado se a temperatura do ambiente interno é adequada, podendo ser avaliado o subcritério “temperatura interna do ambiente”. Para a condução das simulações devem ser seguidas algumas recomendações da norma NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) quanto aos cômodos a serem avaliados, orientação das unidades habitacionais, taxa de ventilação a ser utilizada, entre outros. Ressalta-se que as exigências apresentadas em norma podem ainda variar de acordo com o nível de desempenho que deseja ser alcançado (mínimo, intermediário ou superior) e a zona climática da cidade aonde está a edificação.

Já o procedimento informativo, também chamado de procedimento 2, diz

respeito a condução de medições em edificações, ou até mesmo protótipos, verificando o atendimento aos requisitos estabelecidos em norma. A avaliação do subcritério “temperatura interna do ambiente” é prevista no procedimento informativo da norma NBR 15575-1 (ABNT, 2013a). O item é englobado no Anexo A que fala sobre avaliação do desempenho térmico de edificações por meio de medição. Segundo o anexo deve-se:

“Medir a temperatura de bulbo seco do ar no centro dos recintos dormitórios e salas, a 1,20 m do piso. Para as medições de temperatura, seguir as especificações de equipamentos e montagem dos sensores, apresentadas na ISO 7726.” (NBR 15575-1 (ABNT, 2013a, p.34)).

A norma determina que os equipamentos de medição devem seguir a ISO 7726 (ISO,1998), que recomenda que o equipamento utilizado na medição da temperatura tenha uma precisão mínima de mais ou menos 0,5°C, sendo desejável um valor de 0,2°C. O anexo ainda especifica que em edifícios multipiso, como o estudo de caso, deve-se escolher uma ou mais unidades habitacionais, que possibilitem a avaliação nas condições estabelecidas a seguir:

- Em medições realizadas no verão avaliar unidades com janela do dormitório ou sala voltada para oeste e outra parede exposta voltada para norte;
- Em medições realizadas no inverno avaliar unidades com janela do dormitório ou sala de estar voltada para sul e outra parede exposta voltada para leste;
- Avaliar unidades do último andar do edifício multipiso.

Caso não seja possível avaliar unidades nas condições indicadas a NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) indica que sejam procuradas unidades com características semelhantes as ideais. Nessa situação, deve-se priorizar as unidades que tenham o maior número de paredes expostas e cujas orientações das janelas sejam mais próximas da orientação especificada.

Quanto ao dia de medição é indicado que esse corresponda a um dia típico da estação de estudo, devendo ser procedido por pelo menos um dia com características térmicas semelhantes. Ainda segundo a norma, o ideal seria trabalhar com uma sequência de três dias e analisar os dados do terceiro dia. A norma ainda explica que, nesse contexto, o dia típico é caracterizado unicamente pelos valores da

temperatura do ar exterior medidos no local e apresenta valores de dias típicos de verão e de inverno nas capitais brasileiras.

Os documentos SINAT nº 005 (BRASIL, 2017b) e o DATec nº020C (BRASIL, 2017a) seguem as informações expostas na NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) quanto ao desempenho térmico. O diferencial do DATec nº020C (BRASIL, 2017a) é que este expõe informações sobre os elementos do sistema construtivo LWF que podem auxiliar o desenvolvimento de simulações.

O critério de conforto térmico também prevê a avaliação da variação térmica, também chamada de amplitude térmica, que é o estudo da diferença entre a temperatura de um mesmo lugar em um certo período de tempo. Para Gonçalves e Graça (2004) o estudo da amplitude térmica de uma edificação, ao longo do ano, é de extrema importância uma vez que possibilite entender os fluxos energéticos, que engloba as perdas e ganhos térmicos e a ventilação natural. A norma NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) inclui em suas informações valores de amplitude térmica diárias em dias típicos de verão e inverno para as oito zonas bioclimáticas brasileiras, não é discutido, porém, sobre amplitude térmica interna da edificação.

2.5.2.2 Conforto acústico

Outro critério da dimensão 2 de Sotsek et al. (2019) é o conforto acústico. Este está relacionado com o nível de ruído na edificação. Segundo Amorim e Licarião (2005), o ruído é um som que pode causar incômodo e danificar imediata e irreversivelmente o ouvido, conforme o tempo e intensidade de exposição.

Visando estabelecer níveis de ruído máximos admissíveis nos ambientes segundo o tipo de uso, foi desenvolvida em 1987 a NBR 10152. Essa porém não foi incorporada ao mercado da construção civil. Foi então com a criação da NBR 15575 que foram definidos, a partir da NBR 10152, os níveis de desempenho que os sistemas construtivos devem ter para atenuar a transmissão dos ruídos gerados ambos externa e internamente edificações (PIERRARD; AKKERMAN, 2013).

Segundo a NBR 15575-1 (ABNT, 2013a):

“A edificação habitacional deve apresentar isolamento acústico adequado das vedações externas, no que se refere aos ruídos aéreos provenientes do exterior da edificação habitacional, e isolamento acústico adequado entre áreas comuns e privativas.” (NBR 15575-1 (ABNT, 2013a, p.23)).

Como pode ser observado na FIGURA 10, o critério de conforto acústico é dividido em níveis de ruídos internos, que são aqueles causados pelos próprios ocupantes da habitação, entre cômodos, por exemplo, e níveis de ruído externos, que são os ruídos oriundos de carros, vizinhos, etc., capazes de serem escutados no interior de uma habitação. A norma NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) também prevê ruídos internos e externos no interior da edificação, estes porém são subdivididos conforme os sistemas da habitação. O desempenho acústico é discutido em três partes da norma, sendo elas a parte 3, 4 e 5 da NBR 15575 (ABNT, 2013c, 2013d, 2013e).

A NBR 15575-3 (ABNT, 2013c) apresenta os requisitos e critérios para a verificação do isolamento acústico do sistema de piso entre unidades autônomas. Essa parte da norma visa avaliar:

- O som resultante de ruídos de impacto (caminhamento, queda de objetos e outros) entre unidades habitacionais, por meio da determinação dos valores do nível de pressão sonora padrão ponderado ($L'_{nT,w}$);
- O isolamento de som aéreo de ruídos de uso normal (fala, TV, conversas, música) e uso eventual (áreas comuns, áreas de uso coletivo), por meio da determinação dos valores da diferença padronizada de nível ponderada ($D_{nT,w}$).

Em ambos os casos, as medições devem ser executadas com portas e janelas fechadas, tais como foram entregues pela empresa construtora ou incorporadora.

A NBR 15575-4 (ABNT, 2013d) apresenta os requisitos e critérios para a verificação do isolamento acústico entre o meio externo e o interno, entre unidades autônomas e entre dependências de uma unidade e áreas comuns. Essa parte da norma visa caracterizar os níveis de ruído admitidos na habitação. Fornece valores mínimos da diferença padronizada de nível ponderada ($D_{2m,nT,w}$) da vedação externa de dormitório, e, valores mínimos da diferença padronizada de nível ponderada ($D_{nT,w}$) entre ambientes.

A NBR 15575-5 (ABNT, 2013e) apresenta os requisitos e critérios para a verificação do isolamento acústico entre o meio externo e o interno de coberturas. Essa parte da norma visa avaliar:

- O isolamento de som aéreo de fontes de emissão externas, situação na qual devem ser avaliados os dormitórios da unidade habitacional -

determinação dos valores da diferença padronizada de nível ponderada ($D_{2m,nT,w}$);

- O som resultante de ruídos de impacto (caminhamento, queda de objetos e outros), naquelas edificações que facultam acesso coletivo à cobertura, quando devem ser avaliados os dormitórios e as salas de estar da unidade habitacional - determinação dos valores do nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado ($L'_{nT,w}$).

Os métodos disponíveis para avaliação nas três partes da norma citadas são o método de engenharia, realizado em campo e o método simplificado de campo. A parte 4 da norma também contempla o método de precisão, realizado em laboratório.

O método simplificado de campo é baseado na ISO 10052 (ISO, 2004) e pode ser utilizado quando não se dispõe de instrumentação necessária para realizar o método de engenharia (NBR 15575-3 (ABNT, 2013c)). Porém, a ISO 10052 (ISO, 2004) não prevê a divisão do desempenho acústico por sistemas, como a NBR 15575-1 (ABNT, 2013a), avaliando apenas o desempenho acústico de ambientes internos.

Em âmbito nacional, similar a ISO 10052 (ISO, 2004), existem as normas: NBR 10151 (ABNT, 2003) referente a Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento; e NBR 10152 (ABNT, 2017b) referente a Acústica — Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações, norma que foi atualizada em 2017.

Devido ao seu lançamento mais atual, que faz referência tanto a NBR 15575 (ABNT, 2013) quanto a ISO 10052 (ISO, 2004), a NBR 10152 (ABNT, 2017b) pode ser uma alternativa para o desenvolvimento de avaliações do desempenho acústico de edificações quando seguido o procedimento simplificado. Além disso, a atualização da norma visou harmonizar os procedimentos técnicos adotados na avaliação de um ambiente interno a uma edificação em função da sua finalidade de uso e sem ocupação.

Segundo essa norma, o nível de pressão sonora global representativo de um ambiente é obtido pela média logarítmica dos níveis de pressão sonora contínuos equivalentes, globais, ponderados em A, medidos em diferentes pontos do ambiente, nas mesmas condições. Ademais, o tempo de medição em cada ponto deve ser definido de forma a abranger as variações sonoras significativas no ambiente interno objeto de avaliação e não pode ser inferior a 30 segundos. Assim, o valor do nível de pressão sonora equivalente em cada um dos cômodos pode ser medido calculado por

meio da Equação (1), apresentada na ISO 10052 (ISO, 2004), na NBR 10151 (ABNT, 2003) e na NBR 10152 (ABNT, 2017b):

$$L_{Aeq} = 10 \times \log_{10} \left[\frac{1}{n} \times \left(10^{\frac{L_{Aeq,Ti,p1}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{Aeq,Ti,pn}}{10}} \right) \right] \text{ dB} \quad (1)$$

Onde:

L_{Aeq} = nível de pressão sonora equivalente em cada um dos cômodos;

n = número de pontos de medições distribuídos no ambiente;

Ti = tempo de integração;

Pn = indicação do ponto de medição.

Então, a avaliação pode ser realizada pela comparação entre o nível de pressão sonora equivalente calculado e tabelado. Também é feita a avaliação do nível de pressão sonora máximo por meio da comparação entre o valor máximo medido e o valor tabelado.

Por fim, o SINAT nº 005 (BRASIL, 2017b) e o DATec nº020C (BRASIL, 2017a) utilizam a NBR 15575 (ABNT, 2013c, 2013d, 2013e) no estudo do desempenho acústico.

2.5.2.3 Conforto visual

O critério conforto visual, pertencente a dimensão 2 de Sotsek et al. (2019), engloba o subcritério de iluminação natural. A avaliação do desempenho de uma edificação quanto a iluminação natural visa avaliar a quantidade de luz natural que permeia do ambiente externo para o ambiente interno.

A iluminação natural está presente no item de desempenho lumínico da NBR 15575-1 (ABNT, 2013a), aonde são descritos requisitos de iluminação natural. Segundo a norma, durante o dia, diversas dependências da edificação habitacional devem receber iluminação natural conveniente, oriunda diretamente do exterior ou indiretamente, através de recintos adjacentes. Essas dependências são: sala de estar, dormitório, copa/cozinha e área de serviço. Outras dependências são listadas em norma como lugares onde não são exigidos níveis mínimos de iluminação (banheiros, corredor ou estada interna, corredor de uso comum, garagens e estacionamentos).

A norma divide a iluminação natural em dois critérios: simulação para os níveis mínimos de iluminância natural, e, medição *in loco*, para o Fator de Luz Diurna (FLD). No caso dos níveis mínimos de iluminância natural, avaliados por meio de simulação,

a iluminância geral (lux) para o nível mínimo de desempenho para os cômodos indicados é de 60 lux. Ressalta-se que admitem-se as dependências situadas no pavimento térreo ou em pavimentos abaixo da cota da rua podem ter níveis de iluminância até 20% inferiores aos valores especificados.

As simulações devem ser configuradas para períodos da manhã (9:30h) e da tarde (15:30h), respectivamente para os dias 23 de abril e 23 de outubro e sua avaliação deve ser realizada utilizando o algoritmo apresentado na ABNT NBR 15215-3, atendendo algumas considerações apresentadas em norma. Para atingir o desempenho mínimo os cômodos avaliados devem ter um valor de iluminância geral superior ou igual a 60 lux.

Já para o FLD, avaliado por meio de medição *in loco*, é estabelecido um valor mínimo de FLD de 0,50% nos cômodos indicados. Nesse tipo de avaliação é necessário utilizar um luxímetro portátil, erro máximo de +/- 5% do valor medido, no período compreendido entre 9 horas e 15 horas. Outras considerações presentes em norma também devem ser atendidas como, por exemplo, realizar medições no centro dos ambientes, a 0,75 m acima do nível do piso. Depois de terem sido realizadas as medições o FLD pode ser calculado, como apresentado na Equação (2):

$$FLD = 100 \times \frac{E_i}{E_e} \quad (2)$$

Onde:

E_i é iluminância no interior da dependência;

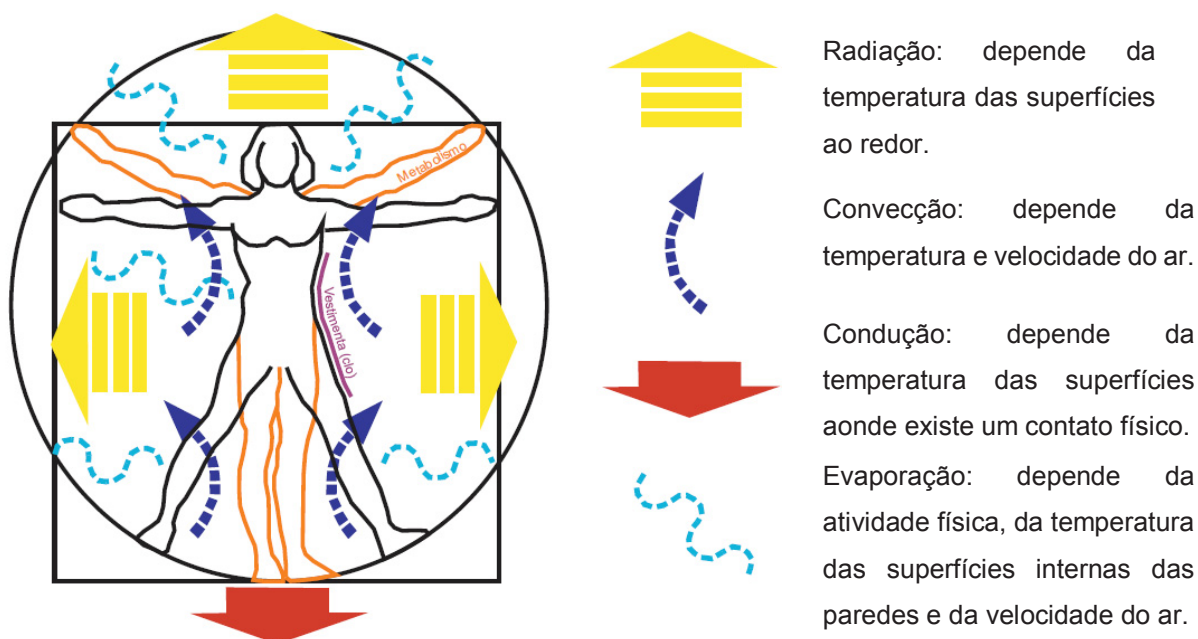
E_e é iluminância externa à sombra.

O Anexo E da NBR 15575-1 (ABNT, 2013a), que fala sobre níveis de desempenho, prevê ainda níveis de desempenho intermediário (I) e superior (S).

2.5.2.4 Qualidade do ar

Por fim, o critério qualidade do ar interno, também da dimensão 2 de Sotsek et al. (2019), é dividido em dois subcritérios: a circulação do ar interno, referente a ventilação, e a umidade do ar. Esse critério está diretamente ligado ao conforto térmico, uma vez que a velocidade e umidade do ar também são variáveis que influenciam na sensação de conforto térmico (LAMBERTS et al., 2011). A FIGURA 12 mostra uma representação esquemática da fisiologia humana e trocas térmicas.

FIGURA 12 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA FISIOLOGIA HUMANA E TROCAS TÉRMICAS



FONTE: LAMBERTS et al. (2011).

Quanto a umidade do ar, esta pode ser relativa ou absoluta. Para Lamberts et al. (2016):

“(...) a umidade absoluta representa a massa de água contido em uma unidade de massa de ar (g/kg) e a umidade relativa, a relação entre a umidade absoluta do ar e a umidade absoluta do ar saturado para a mesma temperatura e pressão.” (LAMBERTS et al., 2016, p.15).

A NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) esclarece que a umidade relativa do ar é uma das variáveis utilizadas para caracterizar um dia típico de verão ou inverno, junto com a temperatura do ar, velocidade do vento e radiação solar. A norma também apresenta um requisito quanto a proliferação de microorganismos, dentro do âmbito da saúde, higiene e qualidade do ar, o qual diz que devem ser oferecidas condições de salubridade no interior da edificação, o que engloba as condições de umidade e temperatura no interior da unidade habitacional, em conjunto com o sistema construtivo utilizado.

Apesar das menções a umidade relativa do ar, a norma não apresenta nem indica métodos para sua quantificação e verificação. O mesmo acontece nos documentos SINAT nº 005 (BRASIL, 2017b) e DATec nº020C (BRASIL, 2017a) que discutem apenas sobre a umidade dos materiais componentes da construção e

estanqueidade a umidade externa.

Já a circulação do ar interno é o ar em movimento caracterizado pela medição da velocidade do ar, sendo esse parâmetro definido por sua magnitude e direção (ISO 7726 (ISO, 1998)). A velocidade do ar ocorre em ambientes internos sem necessariamente a ação direta do vento e costuma ser abaixo que 1m/s. O ar se desloca pela diferença de temperatura no ambiente, onde o ar quente sobe e o ar frio desce, o que é chamado de convecção natural. Dessa forma, a ventilação natural proporciona a renovação do ar ambiente (LAMBERTS et al., 2016).

Segundo a NBR 15575-4 (ABNT, 2013d) ambientes de longa permanência (salas, cozinhas e dormitórios) devem apresentar aberturas, nas fachadas das habitações, com dimensões adequadas para proporcionar a ventilação interna dos ambientes. As aberturas para ventilação variam de acordo com a zona bioclimática:

- Nas zonas bioclimáticas de 1 a 7 são necessárias aberturas médias, com a área de abertura sendo igual ou maior a 7% da área de piso;
- Na zona bioclimática 8 são necessárias aberturas grandes, com a área de abertura sendo igual ou maior a 12% da área de piso na região norte do Brasil, e igual ou maior a 8% da área de piso no nordeste e sudeste do país.

Além disso, a norma apresenta uma observação de que “nas zonas de 1 a 6 as áreas de ventilação devem ser passíveis de serem vedadas durante o período de frio.” (NBR 15575-4 (ABNT, 2013d, p.27)). A avaliação da adequação das aberturas deve ser feita por meio da análise do projeto arquitetônico. Para encontrar a relação da área de abertura e área de piso usa-se a Equação (3):

$$A = 100 \times \frac{A_A}{A_P} \quad (3)$$

Sendo:

A_A é a área efetiva de abertura de ventilação do ambiente, sendo que para o cálculo desta área somente são consideradas as aberturas que permitam a livre circulação do ar, devendo ser descontadas as áreas de perfis, vidros e de qualquer outro obstáculo; nesta área não são computadas as áreas de portas internas. No caso de cômodos dotados de portas-balcão ou semelhantes, na fachada da edificação, toda a área aberta resultante do deslocamento da folha móvel da porta é computada.

A_P é a área de piso do ambiente.

A NBR 15575-1 (ABNT, 2013a), SINAT nº 005 (BRASIL, 2017b) e o DATec nº020C (BRASIL, 2017a) recomendam valores de ventilação para serem usados nas simulações computacionais em estudos de desempenho térmico.

A seleção do equipamento adequado para a medição da velocidade do ar pode ser feita utilizando a ISO 7726 (ISO, 1998) que estabelece precisões mínimas de $\pm(0,05 + 0,005v_a) \text{ m/s}$ e desejáveis de $\pm(0,02 + 0,007v_a) \text{ m/s}$, sendo v_a a velocidade do ar.

2.6 BUILDING INFORMATION MODELING E AS SIMULAÇÕES DE DESEMPENHO

Building Information Modeling (BIM) é, para Eastman et al. (2014), a tecnologia de modelagem e um conjunto associado de processos para produzir, comunicar e analisar modelos de construção. BIM, ou em português, Modelagem da Informação da Construção, visa criar um modelo para a construção de edificações, contendo todas as informações necessárias, desde os materiais utilizados até os processos adotados, além da documentação (PRETTI, 2013). Os seus benefícios são sua capacidade de manter a geometria exata e dados relevantes, atuar no ciclo de vida da edificação, modificar a interação e comunicação, facilitar o processo de construção, e melhorar a qualidade com custo e prazo reduzidos (EASTMAN et al., 2014).

BIM trabalha com objetos paramétricos, associados a bancos de dados, ou seja, objetos cuja representação gráfica está associada a características específicas (parâmetros). Desse modo, durante a concepção do empreendimento, o uso desses objetos permite a extração automática de dados não só referentes ao desenho, como também ao orçamento, quantitativos, entre outros, de forma que qualquer alteração na concepção reflete em uma mudança geral do projeto (PRETTI, 2013).

Atualmente, BIM vem sendo usado de diversas maneiras tanto para auxiliar na busca por um melhor desempenho da edificação desde o seu projeto quanto para avaliar o desempenho de uma edificação já projetada ou construída. Isso pois BIM oferece a oportunidade de alcançar diversos benefícios durante as fases de concepção, projeto, construção e pós-ocupação do projeto de uma instalação de construção. Com o uso do BIM melhorias podem ser identificadas durante as fases iniciais do projeto, o que pode melhorar o desempenho do edifício, o que não era possível usando ferramentas 2D tradicionais (AZHAR; BROWN; FAROOQUI, 2009).

Existem benefícios da adoção da tecnologia BIM em diversas fases da edificação, algumas das vantagens, de acordo com a fase da edificação, são (EASTMAN et al., 2014):

- Pré-construção: auxilia no estudo da viabilidade do projeto e no aumento da qualidade e do desempenho a construção;
- Projeto: possibilita a visualização antecipada e precisa, correções automáticas, geração de desenhos 2D consistentes, colaboração antecipada entre disciplinas de projeto, verificações facilitadas, extração de estimativas de custo durante a etapa de projeto, e também auxílio na análise da eficiência energética e sustentabilidade do projeto;
- Construção e fabricação: permite a sincronização de projeto e planejamento, descoberta de erros de projeto e omissões antes da construção (detecção de interferências), reação rápida a problemas de projeto ou do canteiro, uso do modelo de projeto como base para componentes fabricados, melhor implementação e técnicas de construção enxuta, sincronização da aquisição de materiais com o projeto e a construção;
- Pós-construção: permite o melhor gerenciamento e operação das edificações e a integração com sistemas de operação e gerenciamento de facilidades.

É possível perceber que a avaliação de desempenho das edificações e o uso de tecnologia BIM poderiam estar ligados, visto que a ideia de colaboração, multidisciplinaridade, e de ciclo de vida da edificação estão presentes nos dois domínios. Dessa forma, BIM poderia ser usado na avaliação do desempenho das edificações, as BPEs.

Nesse contexto, Leitner, Scheer e Santos (2019) desenvolveram uma revisão sistemática de literatura sobre BIM e desempenho das edificações. A RSL identificou quatro abordagens principais em que as ferramentas BIM eram usadas na análise de características do desempenho das edificações:

- a) O primeiro grupo de publicações utilizou as ferramentas e modelos BIM em conjunto com ferramentas de simulações de desempenho;
- b) O segundo grupo foi composto por artigos que discutiam sobre a interoperabilidade entre ferramentas BIM e ferramentas de simulação e formatos de arquivos;

- c) O terceiro grupo buscou integrar o BIM com dados de sensores, como sensores que mediam a temperatura e a umidade;
- d) O quarto grupo identificado discutiu a integração de ferramentas BIM com sistemas de classificação de construção sustentável.

O presente estudo faz parte, principalmente, do primeiro grupo, uma vez que visa utilizar as ferramentas e modelos BIM em conjunto com simulações de desempenho. Essas consistem no desenvolvimento de estudos de critérios do desempenho de uma edificação por meio de modelos computacionais inseridos em ferramentas específicas abastecidas com as informações necessárias.

Mendes et al. (2005) relatam que as primeiras ferramentas computacionais para simulação de edificações foram desenvolvidas na década de 70, em computadores do tipo *mainframe*. Posteriormente, surgiram as estações de trabalho com o desenvolvimento de ferramentas computacionais utilizadas até hoje, entre elas o DOE-2 e o RADIANCE.

Na década de 90, houve a popularização dos computadores pessoais o que levou empresas e grupos de pesquisa desenvolverem de interfaces para esses programas compatíveis com o sistema operacional Windows. Como resultado, houve o avanço progressivo dos recursos computacionais, como a capacidade de processamento e a memória, o que permitiu que ferramentas mais modernas e complexas pudessem ser desenvolvidas, tais como o EnergyPlus. No país, desde a década de 80 são importados programas de simulação (MENDES et al., 2005). Presier (1989) já discutia sobre o uso de técnicas de simulação em pesquisa de *design*.

Uma vez que as simulações possam ser consideradas como um método de avaliação do desempenho das edificações, outras variáveis previamente discutidas sobre as avaliações de desempenho também são aplicáveis as simulações. Destaca-se que uma simulação pode ser desenvolvida a fim de avaliar o desempenho de diversos critérios, de diferentes tipos de edificações e em diferentes fases da vida da edificação. Além disso, existem ainda várias ferramentas disponíveis para a condução de simulações de desempenho das edificações. Dessa forma, cabe ao pesquisador, ou empresa, escolher a ferramenta adequada para o tipo de simulação a ser desenvolvida, podendo ainda cair na segunda abordagem de Leitner, Scheer e Santos (2019) quanto a interoperabilidade de ferramentas BIM e de simulação de desempenho.

Ainda sobre as opções de ferramentas existentes, a RSL de Leitner, Scheer

e Santos (2019) identificou 38 publicações que desenvolveram aplicações da integração do modelo BIM com as ferramentas de simulação como mostra o APÊNDICE B (p. 147). Nesse também são apresentadas quais ferramentas BIM e de simulação foram usadas em cada pesquisa assim como quais delas fizeram simulações energéticas, de iluminação ou solares e térmicas, os três tipos de simulação constatados como mais frequentes.

Como pode ser observado, existem diversas opções de ferramentas de simulação disponíveis e sendo utilizadas nas pesquisas. Já referente a ferramenta BIM, o Revit destaca-se como o mais utilizado nestas pesquisas.

Ademais, na NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) são previstas simulações computacionais para a avaliação do desempenho térmico e lumínico. A ferramenta de simulação indicada para as simulações de desempenho térmico é o EnergyPlus, uma das opções disponíveis no mercado para a condução de simulações computacionais, gratuita, de código aberto e de plataforma cruzada, podendo ser executado em vários sistemas operacionais. Já no caso das simulações do desempenho lumínico, a norma não faz nenhuma recomendação quanto ao uso de uma ferramenta específica.

O uso do modelo BIM para desenvolvimento de simulações está de acordo com a ideia de interoperabilidade intrínseca a tecnologia, que busca proporcionar interfaces diretas com outros produtos com suporte a importação e a exportação por meio de padrões abertos de intercâmbio de dados. Isso pois, nenhuma aplicação pode suportar sozinha todas as tarefas associadas ao projeto e produção de uma construção (EASTMAN et al., 2014).

Segundo Eastman et al. (2014), um dos fatores para alcançar uma interface efetiva entre as ferramentas BIM e uma aplicação de simulação é possuir um formato de intercâmbio que seja mutualmente aceito pelas ferramentas, o que possibilitará a transferência de dados. Porém, muitas vezes as ferramentas de simulação e BIM não utilizam o mesmo formato, o que ocasiona dificuldades no processo, como discutido por artigos do segundo grupo da RSL de Leitner, Scheer e Santos (2019).

No caso do EnergyPlus, por exemplo, Eastman et al. (2014) indicam que a ferramenta de simulação possui ligação direta com a ferramenta BIM Ecotect, permitindo o formato de importação IFC e como formato de exportação o IFC, gbXML, e DXF. Porém, caso a análise de energia seja feita com a ferramenta DOE-2, ou a análise acústica seja feita com a aplicação do Ease, Eastman et al. (2014) não indicam nenhuma ferramenta BIM com a qual possam ser feitas trocas diretas entre

os formatos de arquivo. Nos casos em que não são possíveis trocas diretas entre as ferramentas (simulação e BIM), uma vez que estas não utilizem os mesmos formatos de arquivos, outras estratégias devem ser adotadas.

Para Moon et al. (2011), um dos artigos do segundo grupo da RSL, um dos obstáculos para o uso limitado do BIM no domínio da análise ambiental é a falta de interoperabilidade entre os modelos BIM e os programas de análise de desempenho. Os autores ressaltam que existem várias ferramentas de simulação disponíveis no mercado, sendo que a maioria delas necessita que o modelo esteja em um formato particular. Além disso, segundo os autores, mudanças entre formatos podem acarretar perdas de informações.

Diante dessa situação, diversos artigos testam a interoperabilidade entre as ferramentas (MOON et al., 2011; CALQUIN; WANDERSLEBEN; CASTILLO, 2014). Duas propostas recentes, Araujo (2018) e Queiróz, Grigoletti e Santos (2019) testam a interoperabilidade entre os programas Revit e EnergyPlus para a simulação térmica de edificações. A escolha das ferramentas é tomada como adequada uma vez que o Revit seja a ferramenta BIM mais utilizada, conforme pode ser visto no APÊNDICE B, além de que o uso do EnergyPlus é indicado pela NBR 15575-1 (ABNT, 2013a).

No caso de Araujo (2018), a fim de evitar retrabalho quanto a modelagem do projeto do Revit para o EnergyPlus, a autora fez uso do SketchUp, OpenStudio e Euclid. Inicialmente, a autora exportou o modelo do Revit em formato gbXML. Esse arquivo gbXML foi então importado para o *software* OpenStudio, transformado e salvo no formato IDF. Em seguida, este mesmo arquivo foi aberto no Sketchup por meio do plug-in Euclid, no qual é possível verificar a exportação da geometria e se necessário podem ser feitas correções, como ajustar dimensões. Depois, deve-se abrir o arquivo novamente no OpenStudio, ou diretamente no IDF Editor do EnergyPlus, para verificar a conformidade das outras informações exportadas do modelo BIM. A partir deste momento o arquivo está verificado e validado para o desenvolvimento da simulação.

Queiróz, Grigoletti e Santos (2019) também testaram a interoperabilidade das ferramentas Revit e EnergyPlus por meio da exportação do arquivo gbXML a partir do Revit seguindo para o OpenStudio onde foi transformado para IDF, assim como feito em Araujo (2018). Os autores testam ainda a exportação no formato IFC a partir do Revit passando pelo OpenStudio para conversão para IDF e também a exportação direta do Revit para o EnergyPlus em IDF. Os autores concluem que a exportação em gbXML foi a opção mais viável para utilização em simulações térmicas de edificações.

Quanto ao uso das simulações na avaliação do desempenho durante a fase pré-ocupação da edificação, Shen, Shen e Sun (2012) também relacionaram o uso do BIM na fase de pré-ocupação mas por meio de um método de simulação e avaliação de atividades do usuário baseado em BIM, visando facilitar as comunicações entre o projetista e o usuário.

Por fim, os conceitos apresentados nesse capítulo, desde a industrialização da construção civil, com as edificações construídas em LWF e a norma de desempenho vigente, podem ser relacionados por meio da aplicação de uma avaliação de desempenho de diversas características de uma edificação LWF realizada por meio tanto de medições físicas das variáveis, as medições *in loco*, quanto por meio de simulações computacionais de desempenho, fazendo uso de um ambiente BIM e ferramentas de simulação.

3. MÉTODO DE PESQUISA

O Capítulo 3 tem por objetivo explicitar o método que foi utilizado para realizar a pesquisa abrangendo a caracterização da pesquisa e suas etapas.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Quanto a natureza, a presente pesquisa é do tipo aplicada uma vez que “seu principal interesse é que os resultados auxiliem os profissionais na solução de problemas do dia a dia.” (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015, p.15). Para Gerhardt e Silveira (2009) esse tipo de natureza é indicado quando busca-se gerar conhecimentos dirigidos à solução de problemas específicos, envolvendo verdades e interesses locais.

Quanto a abordagem da pesquisa, esta é tanto quantitativa como qualitativa uma vez que alguns de seus resultados possam ser quantificados (FONSECA, 2002) e a pesquisa busque o aprofundamento da compreensão de um tema (GERHARDT; SILVEIRA, 2009). Para Fonseca (2002, p.20) “A utilização conjunta da pesquisa qualitativa e quantitativa permite recolher mais informações do que se poderia conseguir isoladamente.”.

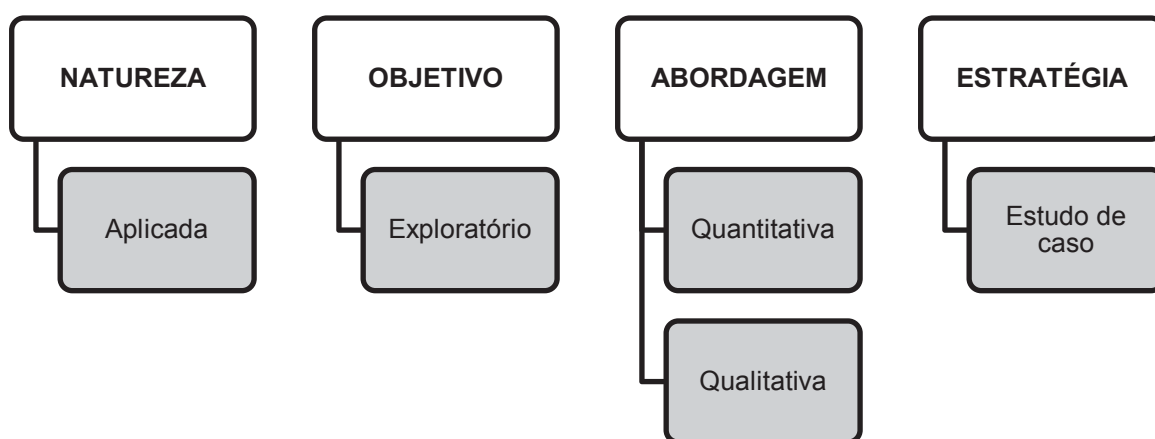
Quanto ao seu objetivo, a pesquisa pode ser classificada como exploratória pois busca contribuir com um assunto ainda restrito e implementar as descobertas e inovações relacionadas com essa situação, proporcionando maior familiaridade com o problema (GIL, 2010). A escolha da classificação na presente dissertação é justificada pela escassez, na literatura, de uma base teórica desenvolvida para fundamentar a construção do conhecimento. Dessa forma, pretende-se construir conhecimento acerca dos assuntos de BPE e *light wood frame*, principalmente, tornando-os mais explícitos (GIL, 2010).

Quanto a estratégia, método de investigação, ou método de pesquisa, foi desenvolvido um estudo de caso único, chamado também de estudo holístico, de forma a compreender e descrever a situação no qual o caso selecionado está inserido. Esse tipo de estratégia de pesquisa visa responder questões do tipo “como” e “por que” (GIL, 2010).

Segundo Yin (2004) o estudo de caso como estratégia de pesquisa é indicado em situações nas quais o pesquisador não possui controle sob as circunstâncias e

pretende responder questões contemporâneas. No estudo de caso comportamentos relevantes não podem ser manipulados pelo pesquisador, que faz então observações diretas e entrevistas sistemáticas (YIN, 2004). Além disso, segundo Gil (2010) o estudo de caso é a estratégia de pesquisa mais completa no quesito coleta de dados uma vez que seja permitido que o pesquisador usufrua de dados de gente e também de dados de papel. A FIGURA 13 mostra um resumo em forma de esquema da caracterização da pesquisa.

FIGURA 13 – RESUMO DA CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA



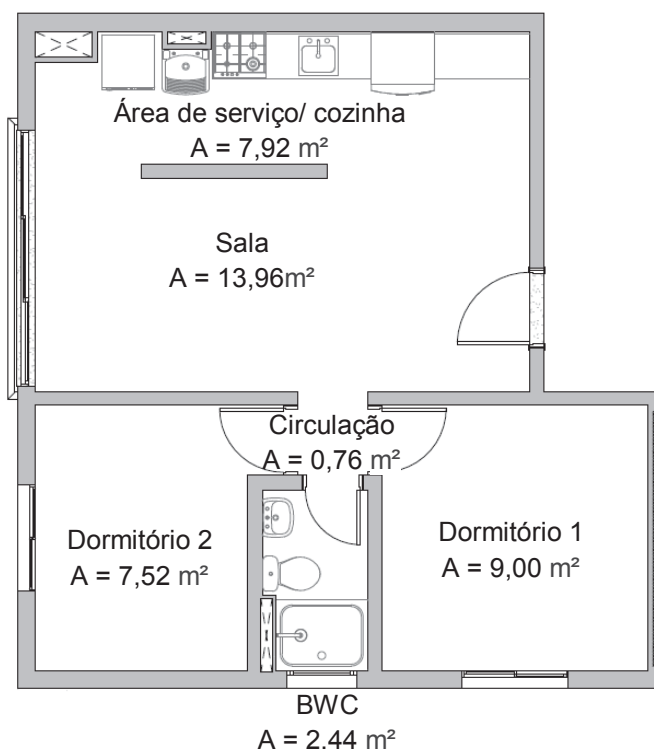
FONTE: A autora (2019).

3.1.1 Unidade de análise

A unidade de análise da pesquisa está associada com a forma como as questões iniciais da pesquisa foram estabelecidas e com a escolha do caso de estudo (YIN, 2004). Seguindo essa lógica, segundo as questões primárias da pesquisa, a presente dissertação tem como unidade de análise um apartamento de um conjunto habitacional de interesse social do PMCMV construído em *light wood frame*.

A FIGURA 14 mostra a planta da unidade habitacional composta por dois dormitórios, um banheiro, sala, cozinha e área de serviço em conceito semiaberto, além da área de circulação, totalizando cerca de quarenta metros quadrados.

FIGURA 14 – PLANTA DA UNIDADE HABITACIONAL



FONTE: Adaptado do acervo da empresa do estudo de caso.

3.2 ETAPAS DA PESQUISA

Campenhoudt, Marquet e Quivy (2017) dividem a pesquisa científica em sete etapas, sendo elas: a escolha da questão inicial; a exploração do tema com leituras e coleta de dados exploratória; a escolha da problemática; a construção de um modelo de análise; a coleta de dados; a análise das informações; e então as conclusões. Já Gil (2010) estabelece sete passos na condução de estudos de caso, são eles: a formulação do problema de pesquisa; a definição da unidade-caso; a determinação do número de casos; a elaboração do protocolo de coleta de dados; a coleta de dados; a avaliação e análise de resultados; e, por fim, a preparação do relatório com as descobertas da pesquisa.

Com base nessas informações, na presente pesquisa, após a definição do objetivo da pesquisa, desenvolvimento da justificativa e das limitações, elaboração do problema da pesquisa, bem como a definição do número de casos e da unidade-caso, optou-se por dividir a realização da pesquisa em fases e etapas, para melhor visualização.

A pesquisa contou com três fases diferentes e sete etapas, como pode ser observado no QUADRO 4. As três fases estão de acordo com os três eixos de

Campenhoudt, Marquet e Quivy (2017), sendo eles a ruptura, a construção e a constatação, e são descritas a seguir:

- A primeira fase foi a fase conceitual, teórica, ou de ruptura, onde foi desenvolvido o referencial teórico e foi feita a escolha dos critérios a serem avaliados;
- A segunda fase foi a fase de desenvolvimento da pesquisa, ou construção, referente ao estudo de caso. Durante essa fase foi feita a preparação do estudo de caso, com o desenvolvimento do protocolo de coleta de dados, tanto para as medições em campo como para as simulações e foram escolhidos os equipamentos a serem utilizados. Depois, foi feito um teste piloto para o entendimento do funcionamento dos equipamentos e visita ao estudo de caso. As etapas seguintes trataram do desenvolvimento do estudo de caso em si, com a condução da avaliação pré-ocupação, que foi feita por meio de medições em campo e simulações;
- Por fim, a terceira fase da pesquisa foi a fase de constatação referente as conclusões, considerações finais e recomendações para trabalhos futuros.

QUADRO 4 – ETAPAS DA PESQUISA

FASE	ETAPA	DESCRIÇÃO	
CONCEITUAL (INICIAL - RUPTURA)	ETAPA 1	Referencial teórico	
	ETAPA 2	Escolha dos critérios a serem avaliados	
ESTUDO DE CASO (DESENVOLVIMENTO - CONSTRUÇÃO)	ETAPA 3	Escolha e descrição do estudo de caso	
	ETAPA 4	Avaliação pré-ocupação - medições <i>in loco</i>	Protocolo de coleta de dados das medições <i>in loco</i>
			Medições <i>in loco</i>
	ETAPA 5	Avaliação pré-ocupação - simulações computacionais	Protocolo de coleta de dados das simulações
			Modelagem BIM
			Simulação térmica
			Simulação de iluminação natural
	ETAPA 6	Resultados e análises	
CONCLUSÕES (FINAL – CONSTATAÇÃO)	ETAPA 7	Conclusões, identificação de possíveis melhorias e respectivas propostas	

FONTE: A autora (2019).

3.2.1 ETAPA 1: referencial teórico

Na pesquisa bibliográfica são expostas de forma resumida as principais ideias já discutidas por outros autores que trataram do problema (GERHARDT; SILVEIRA, 2009). A pesquisa bibliográfica é desenvolvida com base em material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos sendo que quase todos os estudos desenvolvam algum tipo de trabalho dessa natureza. A sua principal vantagem é a capacidade de investigar uma gama de fenômenos muito mais ampla do que aquela que se poderia pesquisar diretamente (GIL, 2010).

Para a elaboração do referencial teórico utilizou-se de materiais como livros, artigos científicos, tanto de revistas como de eventos, teses e dissertações, dentre outros. No estudo de conceitos clássicos priorizou-se o levantamento das informações por livros, sendo chamados de leitura de referência por Gil (2010), e também artigos conceituados no assunto. Para o levantamento da situação atual, o estado-da-arte, foram utilizados artigos científicos atuais. Gil (2010) descreve as revistas científicas como uma das mais importantes fontes bibliográficas da atualidade, devido a profundidade de suas informações e qualidade na elaboração.

A pesquisa bibliográfica baseou-se nos seguintes tópicos: primeiramente foi estudada a industrialização da construção civil e pré fabricação para então entender e desenvolver o tópico de *light wood frame*. Em seguida, foi construído o referencial teórico sobre as HIS, discutindo sobre o PMCMV. O próximo tópico discutido foi a qualidade na construção civil, que levou a criação de normas e ao conceito de desempenho das edificações. Esse tópico foi ainda afinado para englobar as normas e diretrizes específicas do método construtivo *light wood frame*. O tópico seguinte percorreu sobre o conceito de avaliação de desempenho das edificações e suas sub avaliações. Esse tópico compreendeu também a avaliação de desempenho em edificações LWF e os conceitos a serem entendidos da dimensão 2, dimensão objetivo deste estudo. Por fim, foi discutido sobre o BIM no âmbito das simulações para avaliar o desempenho das edificações.

3.2.2 ETAPA 2: escolha dos critérios a serem avaliados

A partir do estudo de Sotsek et al. (2019), sobre critérios a serem avaliados em edificações *light wood frame*, escolheu-se avaliar uma de suas dimensões. A

escolha da dimensão foi feita buscando critérios que pudessem ser avaliados de forma quantitativa, ou seja, variáveis quantitativas, que são aquelas que numericamente mensuráveis com medições em campo, por exemplo (GERHARDT; SILVEIRA, 2009). Assim, foi buscada então uma dimensão em que todos os critérios pudessem ter suas características mensuradas quantitativamente em campo.

Além disso, por meio da RSL sobre APOs de Leitner, Sotsek e Santos (2019), pode-se chegar em quais critérios são usualmente mais avaliados em avaliações de desempenho desse tipo. Tanto a busca por uma dimensão que pudesse ser avaliada quantitativamente, quanto a busca pela correlação entre os critérios mais frequentes em uma APO e os critérios selecionados para uma avaliação de desempenho de uma edificação LWF, apontaram para a dimensão 2. Dessa forma, escolheu-se avaliar a dimensão 2, que engloba 4 critérios e 7 subcritérios.

Ressalta-se ainda que esta dimensão foi a que teve a segunda maior importância segundo os questionários aplicados por Sotsek et al. (2019), tanto no Simpósio Madeira & Construção quanto na reunião da equipe responsável pela elaboração da norma de LWF no Brasil, sendo que os primeiros lugares não foram ocupados pela mesma dimensão. Além disso, na RSL de Leitner, Sotsek e Santos (2019), os itens iluminação, avaliação da temperatura interna e conforto acústico foram os mais frequentes, todos estes presentes na dimensão 2.

3.2.3 ETAPA 3: escolha e descrição do estudo de caso

A ETAPA 3 é a primeira da fase do estudo de caso. Nessa etapa é apresentado o estudo de caso da pesquisa, justificando sua escolha e fornecendo as informações levantadas sobre o empreendimento. Essas informações são necessárias tanto para caracterizar o estudo em questão e informar detalhes sobre o método construtivo quanto para disponibilizar as informações usadas, posteriormente, na simulação de desempenho.

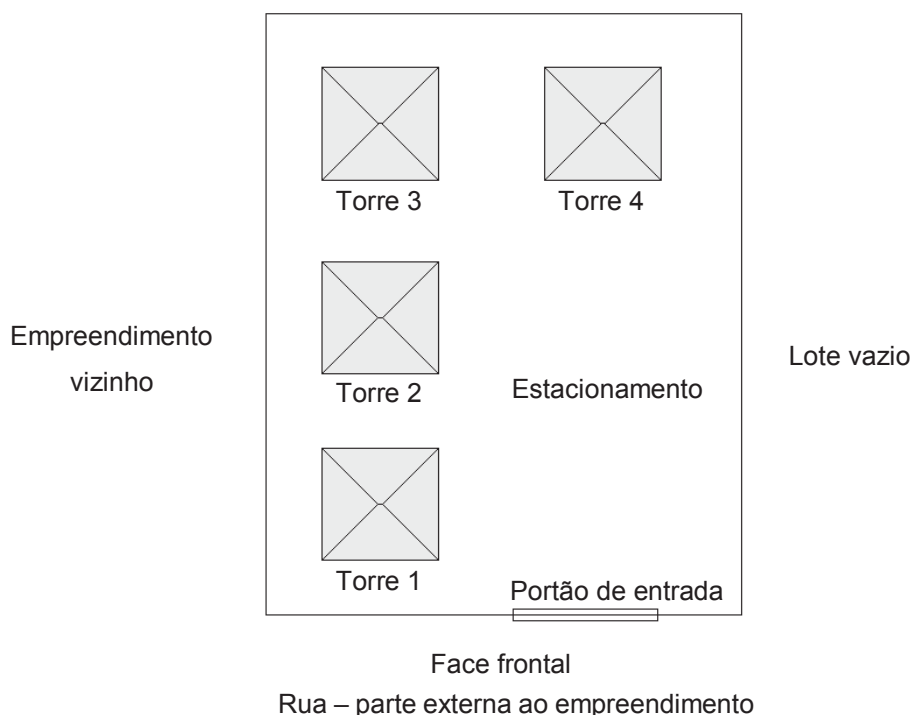
A escolha do conjunto habitacional cuja unidade representa a unidade de análise do estudo de caso foi fundamentada em diversos critérios como a localização e facilidade de acesso e o grau de industrialização da construção. Além disso, a escolha foi feita de forma a identificar um empreendimento no qual poderia ser investigado a fase de pré-ocupação a fim de responder a problemática levantada na presente dissertação.

O conjunto habitacional em questão é composto por quatro prédios, cada um com três pavimentos (térreo, primeiro e segundo pavimento), construídos em série, executando uma fase de cada prédio por vez. Cada pavimento possui quatro apartamentos que possuem a mesma metragem e disposição, com exceção dos dois localizados ao lado da entrada principal de cada torre no pavimento térreo. Nessas unidades, um dos quartos é menor para comportar a entrada da edificação.

Uma unidade habitacional padrão é composta por dois dormitórios, um banheiro, sala, cozinha e área de serviço, além de um espaço de circulação entre os dormitórios, totalizando cerca de quarenta metros quadrados. Os prédios possuem o mesmo projeto e mesma tecnologia construtiva. Eles estão localizados na cidade de Araucária, situada na região metropolitana de Curitiba. As obras iniciaram no mês de janeiro de 2018 e foram finalizadas em setembro do mesmo ano.

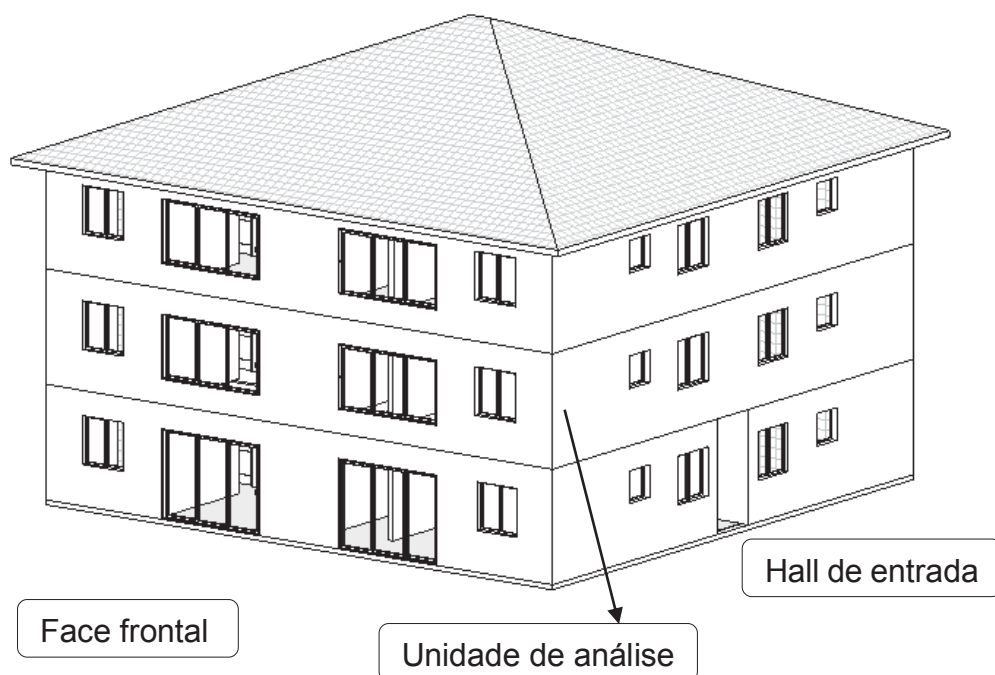
Na FIGURA 15 pode ser observada uma visão geral do empreendimento, com suas quatro torres e divisas. Já na FIGURA 16 pode ser observada uma das torres do empreendimento em questão, a torre 1, edifício no qual está situado o apartamento que representa a unidade de análise da pesquisa. Tal torre está localizada logo na entrada do empreendimento tendo sua face frontal para a rua. Ainda foram identificadas a entrada do edifício e a localização do apartamento unidade de análise.

FIGURA 15 – CROQUI SIMPLIFICADO DO EMPREENDIMENTO



FONTE: A autora (2019).

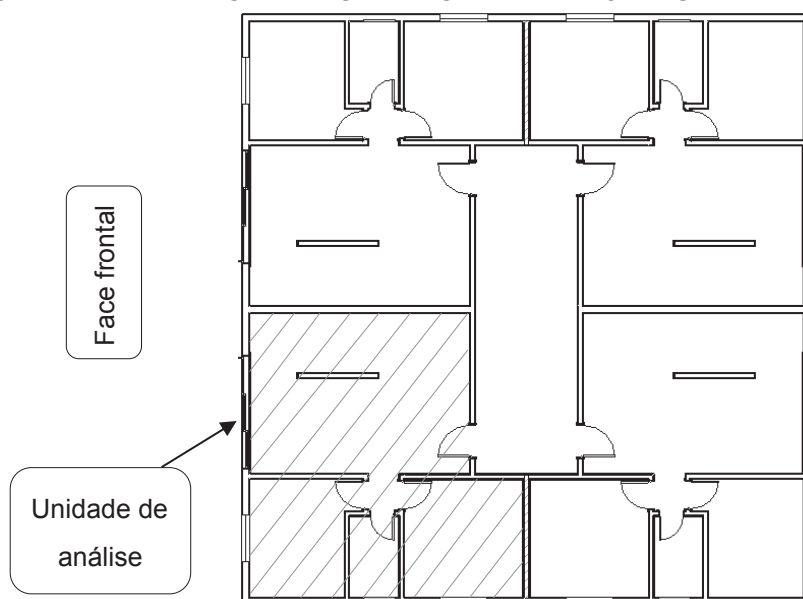
FIGURA 16 – EDIFÍCIO DA UNIDADE DE ANÁLISE (TORRE 1)



FONTE: A autora (2019).

A planta do apartamento pode ser vista na FIGURA 14, apresentada na página 70, já planta simplificada do primeiro pavimento pode ser observada na FIGURA 17, que mostra que a unidade de análise possui uma parede de divisa entre apartamentos do tipo cozinha-cozinha e outra do tipo dormitório-dormitório.

FIGURA 17 – PLANTA SIMPLIFICADA DO PAVIMENTO DA UNIDADE HABITACIONAL



FONTE: A autora (2019).

Quanto ao sistema construtivo, o empreendimento possui pisos e paredes com diversas composições. Para definir as composições foram utilizadas informações fornecidas pela empresa em questão e também o documento DATec nº020C (BRASIL, 2017a), uma vez que a construção atenda esse documento.

Apesar da empresa seguir o DATec nº020C (BRASIL, 2017a), a mesma utilizou algumas composições de parede não citadas no documento. Isso é possível uma vez que a empresa comprove por meio de testes e avaliações que a nova composição cumpre os requisitos mínimos estipulados. No caso das paredes internas do banheiro foi utilizado um número maior de camadas do que o previsto, o que pode afetar positivamente o desempenho. Ademais, o documento não inclui a composição de paredes de geminação específica para a situação entre quartos, que foi então testada e aprovada pela empresa anteriormente a construção do empreendimento.

Sendo assim, algumas paredes seguiram a mesma composição prevista no DATec nº020C (BRASIL, 2017a) e outras não. As composições podem ser observadas no APÊNDICE E (p.156), no qual: as paredes que não estão previstas no DATec nº020C (BRASIL, 2017a) recebem um asterisco (*), os montantes são as peças serradas de madeira, e os valores totais podem ser aproximados.

Outros elementos da construção estão de acordo com o estabelecido pelo documento, como o sistema de coberturas que “é constituído por estrutura em madeira, telhas cerâmicas, forro em camada dupla de chapas de gesso para *drywall* sobrepostas por manta de lã de vidro.” (DATec nº020C (BRASIL, 2017a, p.3)).

3.2.4 ETAPA 4: Avaliação pré-ocupação – medições *in loco*

A ETAPA 4 engloba o desenvolvimento da avaliação do desempenho da unidade de análise feita por meio de medições físicas dos parâmetros da dimensão 2 no local em questão. Para que essa etapa fosse completada foi escolhido subdividi-la em duas: inicialmente foi elaborado um protocolo de coleta de dados para a atividade em pauta para que, sucessivamente, fosse possível ir a campo realizar tais medições.

3.2.4.1 ETAPA 4.1: protocolo de coleta de dados das medições *in loco*

Depois de terem sido identificados e escolhidos os critérios a serem avaliados, e selecionado o estudo de caso em questão, a etapa seguinte consistiu em desenvolver o protocolo de coleta de dados de cada um desses critérios. Para isso,

foram utilizados os principais documentos referentes ao desempenho das edificações e também referentes a construções em LWF no país. Esses são a norma NBR 15575 partes 1 a 6 (ABNT, 2013a, 2013b, 2013c, 2013d, 2013e, 2013f), o SINAT nº 005 (BRASIL, 2017b) e o DATec nº020C (BRASIL, 2017a). Então, foram levantadas as informações sobre cada critério, e respectivos subcritérios, visando responder:

- Como medir o item, identificando recomendações sobre os equipamentos e as medições (altura e posicionamento do equipamento, por exemplo);
- Quando fazer as medições, identificando comentários sobre o horário, dia, estação, etc., mais adequado para as medições;
- Em qual local fazer as medições, identificando quais cômodos devem ser avaliados.

Os documentos principais de referência não possuíam informações completas sobre os critérios, por isso, foram utilizados documentos complementares, como artigos científicos, para levantar as informações necessárias. Os artigos utilizados foram, principalmente, os da RSL de Leitner, Sotsek e Santos (2019). As informações levantadas nos artigos e utilizadas para a construção do protocolo de coleta de dados podem ser vistas no APÊNDICE C (p.148). Como pode ser observado, não houve um consenso entre os equipamentos utilizados, tempo de medição e data das medições. Outros documentos complementares também foram utilizados, como a ISO 7726 (ISO, 1998), a NBR 10152 (ABNT, 2017b) e a NBR 10151 (ABNT, 2003).

A ETAPA 4.1 também englobou o levantamento dos equipamentos disponíveis para uso durante a pesquisa. Assim, a escolha dos equipamentos foi feita considerando as informações encontradas nos documentos de referência e também sua disponibilidade. O resultado do protocolo de coleta de dados para as medições em campo pode ser observado no QUADRO 5, com as respectivas considerações.

A construção do protocolo foi feita utilizando a lógica da ferramenta 5W2H, adaptada para 5W1H, excluindo-se a questão dos custos (*how much*). Assim, foram feitas seis perguntas: por que (*why*), que identifica a razão da medição; o que (*what*), que identifica qual subcritério será avaliado; aonde (*where*), pergunta que identifica em quais cômodos serão realizadas as medições; como (*how*), referente a como serão conduzidas as medições; quando (*when*), referente ao período de tempo das medições; e quem (*who*), referente a quem é o responsável pelo processo. A última pergunta (*who*) não foi incluída no QUADRO 5 uma vez que todas as medições são de responsabilidade da pesquisadora. Foram ainda acrescentadas observações.

As informações destacadas em quadros verdes no QUADRO 5 são aquelas presentes na NBR 15575-1 (ABNT, 2013a). As informações destacadas em quadros rosas foram retiradas das normas NBR 10151 (ABNT, 2003) e NBR 10152 (ABNT, 2017b). As informações em quadros amarelos foram retiradas do documento da CETESB (2017), este tendo sido baseado também na norma NBR 10151 (ABNT, 2003). Por fim, as demais informações foram baseadas nas informações encontradas principalmente na NBR 15575-1 (ABNT, 2013a), além da indicação dos equipamentos que foram utilizados com suas respectivas especificações técnicas.

O protocolo foi testado por meio de um teste piloto, realizado no dia 05 de junho de 2018. O dia encontrava-se nublado com condições meteorológicas adequadas para a medição da iluminação natural e do nível de ruído, subcritérios que possuíam informações específicas na NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) quanto a isso. Dessa forma, foi possível realizar um teste nos equipamentos e na operação de coleta de dados resumida no QUADRO 5. Ademais, foram elaboradas folhas de verificação a serem usadas na coleta de dados em campo (APÊNDICE D, p. 152).

Como pode ser visto, a altura do equipamento foi especificada na NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) apenas para medições de temperatura interna e de iluminação natural. Isso pois as medições em campo da umidade do ar e circulação do ar (ventilação) não são previstas na norma. Entretanto, essas medições foram realizadas por diversos autores (APÊNDICE C, p.148). Além disso, a ISO 7726 (ISO, 1998) também fala sobre a mensuração quantitativa desses parâmetros e indica que essas sejam feitas a uma altura de 1,10 m do chão.

Seguindo a proposta de Sotsek et al. (2019), e as referências citadas, foram adotadas medições para a umidade relativa do ar. Essas foram feitas à altura de medição de 1,20 m a fim de simplificar o procedimento de medições. Como já mencionado no referencial teórico, Lamberts et al. (2011) discutem sobre a influência da circulação do ar e da umidade no conforto térmico, sendo assim, a padronização da altura de medição para 1,20 m pode ser justificada. O mesmo raciocínio foi utilizado para adotar o centro do cômodo como local de medição. Ressalta-se que o equipamento utilizado para medir a temperatura interna do ambiente é o mesmo que mede a umidade relativa do ar, dessa forma a medição desses dois subcritérios na mesma posição (local e altura), além de lógica, torna-se conveniente.

Já no caso do subcritério circulação do ar (ventilação), inicialmente foi proposta também sua medição quantitativa com o uso de um anemômetro. Essas porém foram

canceladas uma vez que, durante a realização do teste piloto, em todas as medições realizadas nos cômodos, tanto com as janelas abertas quanto fechadas, o equipamento indicou um valor de 0,00 m/s. Foram feitas algumas tentativas de medições todas porém com esse mesmo resultado. Dessa forma, concluiu-se que a medição da circulação do ar (ventilação) não traria resultados significativos a pesquisa, não devendo ser incluída no protocolo.

Apesar da NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) não discutir sobre a medição da circulação do ar (ventilação) por meio de equipamento específico, a NBR 15575-4 (ABNT, 2013d) prevê que seja feita a avaliação da ventilação por meio da análise do projeto arquitetônico nos ambientes de longa permanência. Essa avaliação é feita utilizando a equação apresentada na norma que relaciona a área de abertura e área de piso em cada cômodo da unidade habitacional (Equação 3, p.61). Essa informação, apesar de não ser uma medição de campo, também foi incluída no QUADRO 5.

Para avaliar a variação térmica, foi escolhido posicionar um *datalogger* de temperatura imediatamente fora a edificação, além do termo higrômetro na sala. Dessa forma pode ser comparada a temperatura interna com a temperatura externa para um mesmo horário do dia, avaliando a variação térmica do meio interno com o meio externo. O uso do *datalogger* para as medições de temperaturas externas permite a obtenção de informações contínuas sobre a temperatura externa sem que o pesquisador tenha que se deslocar para fora da unidade de análise. O *datalogger* foi posicionado no peitoril da janela e teve sua altura ajustada, por meio do uso de caixas de apoio, de forma a atingir a altura adequada.

No caso do conforto acústico, Sotsek et al. (2019) dividem o critério em ruídos internos e ruídos externos. Como a unidade de análise da pesquisa é um apartamento não faz parte dessa avaliar o ambiente externo à edificação. Apesar disso, foram estabelecidas medições do conforto acústico externo a fim de comparar o nível de ruído interno e externo. Ainda, conforme disponibilidade de equipamentos, foi utilizado o método simplificado de medições acústicas, que não é capaz de dividir esse item conforme o previsto na NBR 15575 (ABNT, 2013c, 2013d, 2013e), a qual subdivide o desempenho acústico conforme os sistemas da habitação. Assim, foram estabelecidas medições tanto com as janelas abertas quanto com as janelas fechadas a fim de avaliar o mais diretamente possível a influência dos ruídos externos na edificação. A medição do nível de ruído, feita com o decibelímetro.

Segundo a NBR 10151 (ABNT, 2003) as medições de ruído devem ser

realizadas a uma altura de 1,20 m a 1,50 m do chão. Foi adotado então o valor de 1,20 m de forma a facilitar as medições em geral. A NBR 10152 (ABNT, 2017b) informa que o tempo de medição deve ser superior a 30 segundos, já o tempo de integração pode variar. Assim, foi escolhido fazer medições de 10 em 10 segundos (tempo de integração de 10 segundos), e realizar 30 medições seguidas, resultando em um tempo de medição de cinco minutos, como foi feito em CETESB (2017). Além disso, a avaliação do conforto acústico foi feita nos dois dormitórios e na sala conforme sugerido pela NBR 15575-5 (ABNT, 2013e).

Para a realização das medições na prática, foram estabelecidas estações de trabalho fixas para cada ambiente. Ou seja, cada cômodo no qual sejam previstas medições deve ter uma estrutura previamente montada e não deslocável com a altura adequada as medições. Dessa forma, o pesquisador precisa apenas acoplar o equipamento ao invés de movimentar toda a estação de trabalho. Essa escolha mostrou-se adequada com base no teste piloto realizado.

No caso de cômodos que possuíam mais de uma altura de medição foram desenvolvidas estações de trabalho que se adequassem a ambas as necessidades, sendo o centro do cômodo (lugar adequado para as medições) o centro das estações de trabalho. Essa escolha possibilitou agilizar o trabalho em campo além de evitar conflitos na movimentação de pesquisadores e equipamentos. A montagem das estações foi feita com auxílio de escadas e caixas de papelão unidas de forma estável e com a altura conferida por trenas.

Quanto ao tempo de medições foi adotado para a temperatura interna e umidade três ciclos diários de medição, um caracterizando a manhã, outro caracterizando o começo da tarde e o terceiro caracterizando o fim da tarde/comoço da noite, como também foi feito por Woo (2014). Cada ciclo tem a duração de uma hora e meia com leituras de 10 em 10 minutos. Ou seja, nesses casos, cada equipamento tem seu display lido uma vez a cada dez minutos, como também foi feito em Filippín, Larsen e Marek (2015).

Quanto a iluminação natural, a NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) indica que essa seja medida em campo entre as 9 horas e as 15 horas. A norma não especifica quantas medições devem ser realizadas dentro desse período de tempo. Foram adotados dois ciclos de medições (manhã e tarde), com duração de 1,5 hora e leituras de 10 em 10 minutos, dentro do período estabelecido na norma. Para o cálculo do FLD, parâmetro referente a medição da iluminação natural pela NBR 15575-1 (ABNT,

2013a) deve ainda ser medida a iluminação em um ponto exterior a edificação na sombra, de forma a calcular o FLD pela equação disponibilizada em norma.

Quanto ao conforto acústico, em cada um dos ciclos diários, as leituras do nível de ruído são feitas de 10 em 10 segundos até somarem 30 leituras, conforme descrito pela CETESB (2017). Posteriormente, esses dados são inseridos na equação apresentada na ISO 10052 (ISO, 2004), NBR 10152 (ABNT, 2017b) e NBR 10151 (ABNT, 2003) de forma a calcular o nível de pressão sonora equivalente. De acordo com a NBR 10151 (ABNT, 2003) a medição pode envolver uma amostra ou uma série delas e as medições devem ser feitas com as janelas posicionadas conforme o uso habitual da edificação. Como na fase pré-ocupação ainda não existe um histórico de uso da habitação pelo morador, o QUADRO 5 prevê uma série de medições com a janela aberta e outra com a janela fechada em cada um dos ciclos de avaliação.

3.2.4.2 ETAPA 4.2: avaliação pré-ocupação – medições *in loco*

Com o protocolo de coleta de dados estabelecido e validado e equipamentos de medição testados, pode-se então ir a campo para a condução da avaliação pré-ocupação do estudo de caso. Uma unidade habitacional foi avaliada em um período de um dia, período em que a unidade de análise foi liberada pela empresa para a condução da avaliação e em que foram medidos os subcritérios da dimensão 2.

A avaliação pré-ocupação foi realizada no dia 29 de setembro de 2018. O dia encontrava-se nublado, sendo as condições meteorológicas adequadas para a medição da iluminação natural e do nível de ruído, subcritérios que possuíam informações específicas quanto a isso, conforme exposto no protocolo de coleta de dados. Ademais, conforme indicado na NBR 15575-1 (ABNT, 2013a), foi trabalhado com uma sequência de três dias para analisar os dados do terceiro dia dos dados de temperatura. Dessa forma, visou-se garantir que o dia escolhido para as medições represente de fato as temperaturas típicas do período em que está inserido.

A unidade de análise selecionada foi escolhida pela empresa do estudo de caso, sendo um apartamento localizado na torre frontal do empreendimento no primeiro pavimento. A avaliação pré-ocupação foi iniciada às 8 horas da manhã com a chegada no local do empreendimento, contato com os responsáveis, e então montagem das estações de trabalhos. Para isso foram utilizadas escadas e caixas de papelão, estabilizadas com o uso de fita crepe, como já tinha sido feito e validado na

etapa do teste piloto. As alturas foram então conferidas, por meio de trenas, assim como a estabilidade do conjunto.

Para essa etapa de medições, contou-se com a ajuda de outros dois pesquisadores a fim de auxiliar o manuseio dos equipamentos e também possibilitar que fosse feita a medição de vários parâmetros consecutivamente. Tais pesquisadores foram treinados e vistoriados durante todo o processo de coleta de dados. As medições seguiram os três ciclos de coleta definidos. O QUADRO 6 mostra o horário aproximado de cada um dos ciclos.

QUADRO 6 – CICLOS DE MEDIÇÕES DA AVALIAÇÃO PRÉ-OCUPAÇÃO

CICLO	INÍCIO	TÉRMINO
CICLO 1	10 :00 – 10 :10	11 :00 – 11 :30
CICLO 2	13 :30 – 13 :40	15 :00 – 15 :10
CICLO 3	17 :40 – 17 :50	19 :10 – 19 :20

FONTE: A autora (2019).

No caso das medições de desempenho acústico, a norma NBR 10151 (ABNT, 2003) prevê que sejam feitas medições com as aberturas seguindo o uso habitual da edificação (abertas ou fechadas). Como a edificação ainda não está habitada, não existe um padrão de uso e por isso foram feitas tanto com as janelas abertas quanto com as janelas fechadas. No caso das medições com as janelas abertas, essas foram feitas fora dos ciclos de medições de forma a não influenciar os resultados de temperatura e umidade.

Após as medições terem sido feitas os dados foram computados, tabelados e dispostos na seção de resultados da presente pesquisa. A avaliação dos resultados variou de item para item de acordo com as informações dispostas nos documentos de referência, sendo que:

- Os valores do desempenho térmico medidos foram comparados com valores citados em norma (NBR 15575-1 (ABNT, 2013a));
- Os valores do nível de ruído foram inseridos em equação apresentada na ISO 10052 (ISO, 2004), NBR 10151 (ABNT, 2003) e NBR 10152 (ABNT, 2017b) com resultado comparado com critérios citados na NBR 10152 (ABNT, 2017b);
- Os valores encontrados nas medições da iluminação natural foram inseridos em equação apresentada na NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) e

comparados com requisitos de desempenho mínimo apresentados nessa norma;

- A circulação do ar (ventilação) foi avaliada por meio de análise do projeto e comparados com requisitos de desempenho mínimo apresentados NBR 15575-4 (ABNT, 2013d);
- A umidade do ar foi avaliada por meio da carta bioclimática de Curitiba, ferramenta que relaciona a umidade relativa com a temperatura indicando a respectiva zona bioclimática.

3.2.5 ETAPA 5: Avaliação pré-ocupação – simulações computacionais

A ETAPA 5 engloba todo o desenvolvimento da avaliação do desempenho da unidade de análise feita por meio de simulações dos parâmetros da dimensão 2, quando previsto nos documentos principais de referência da pesquisa. Para que essa etapa fosse completada foi escolhido dividi-la em partes menores, assim como foi feito na ETAPA 4, referente as medições *in loco*. Porém, na etapa em foco, julgou-se necessário, para melhor clareza e entendimento dos procedimentos, a adoção de um número maior de itens, sendo eles: a elaboração do protocolo de coleta de dados das simulações; a modelagem do empreendimento em ambiente BIM; e as respectivas simulações identificadas.

3.2.5.1 ETAPA 5.1: protocolo de coleta de dados das simulações computacionais

A construção do protocolo de coleta de dados das simulações também foi feita utilizando a lógica da ferramenta 5W1H. Seguindo a lógica da ferramenta são feitas seis perguntas: por que (*why*), que identifica a razão da simulação; o que (*what*), que identifica qual subcritério tem sua simulação prevista nos documentos principais de referência da pesquisa; aonde (*where*), pergunta que identifica quais cômodos devem ser avaliados por meio da simulação; como (*how*), referente a como devem ser conduzidas as simulações com quais ferramentas; quando (*when*), referente ao período considerado nas simulações; e quem (*who*), referente a quem é o responsável pela condução das medições. A última pergunta (*who*) não foi incluída no QUADRO 7 uma vez que todas as medições são de responsabilidade da pesquisadora. Foram ainda acrescentadas algumas observações.

Assim como na etapa anterior, a busca pelas informações necessárias para a

elaboração do protocolo foi feita considerando os principais documentos referentes ao desempenho das edificações e também referentes a construções em LWF no país: a NBR 15575 partes 1 a 6 (ABNT, 2013a, 2013b, 2013c, 2013d, 2013e, 2013f), o SINAT nº 005 (BRASIL, 2017b) e o DATec nº020C (BRASIL, 2017a).

Com o desenvolvimento do protocolo, foi identificado na NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) informações sobre o desenvolvimento de simulações de desempenho térmico e de iluminação natural. Essas informações podem ser utilizadas na configuração das simulações de desempenho desses dois subcritérios.

Ainda, o SINAT nº 005 (BRASIL, 2017b) e o DATec nº020C (BRASIL, 2017a) utilizam as informações da NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) sobre simulações térmicas, porém, não mencionam simulações de iluminação natural. Além disso, o DATec nº020C (BRASIL, 2017a) segue as recomendações da NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) no desenvolvimento de simulações de desempenho térmico e disponibilizam informações sobre o método construtivo *light wood frame* que podem ser usadas para configurar a simulação. Essas informações englobam a densidade aparente, calor específico e condutividade térmica de uma chapa OSB, por exemplo.

No caso da simulação térmica, a ferramenta recomendada para as simulações é o EnergyPlus. Já no caso da simulação de iluminação natural, não é indicada nenhuma ferramenta. Para ambos os tipos de simulações são indicados os cômodos a serem avaliados e o período que deve ser considerado para a avaliação.

Além disso, a norma aponta qual apartamento da edificação multipiso deve ser avaliado. No caso do desempenho térmico deve ser selecionado o último pavimento e apartamentos em situação crítica para o verão e o inverno. No caso da simulação de iluminação natural devem ser avaliados apartamentos de todas as orientações e pavimentos. Por impossibilidade de avaliar estes tipos de apartamentos da edificação estudada, foi simulado o mesmo apartamento em que foram feitas as medições *in loco*.

Por fim, no caso das simulações, os documentos em questão continham informações suficientes para o entendimento do processo de simulação. Além disso foi preciso buscar referências complementares para o procedimento de interoperabilidade de ferramentas, como é discutido no item 3.2.5.2.

QUADRO 7 – PROTOCOLO DE COLETA DE DADOS – SIMULAÇÕES

Why	What	Where		How		When	Observações			
Critério	Subcritério	Cômodo		Ferramenta	Posicionamento	Leitura				
Conforto térmico	Temperatura interna do ambiente	Dorm. 1	Dorm. 2	Sala	EnergyPlus	Dia típico de verão e dia típico de inverno	Simular todos os recintos da unidade habitacional, considerando as trocas térmicas entre os seus ambientes e avaliar os resultados dos recintos dormitórios e salas.			
		A absortância à radiação solar das superfícies expostas deve ser definida conforme a cor e as características das superfícies externas da cobertura e das paredes expostas. Para paredes claras adotar valor de 0,3.								
		Adotar uma taxa de ventilação do ambiente de 1 ren/h. A taxa de renovação da cobertura deve ser a mesma, de 1 ren/h.								
Conforto visual	Iluminação natural	Dorm. 1	Dorm. 2	Sala	-	As simulações devem ser configuradas para períodos da manhã (9:30h) e da tarde (15:30h), respectivamente para os dias 23 de abril e 23 de outubro.	Supor dias com nebulosidade média (índice de nuvens 50%).			
		Sala	Copa/ cozinha				Supor desativada a iluminação artificial.			
		Área de serviço	Simulações para o centro dos ambientes, na altura de 0,75m acima do nível do piso.				Considerar os eventuais sombreamentos resultantes de edificações vizinhas.			

LEGENDA	
NBR 15575-1 (ABNT, 2013a)	

FONTE: A autora (2019).

3.2.5.2 ETAPA 5.2: avaliação pré-ocupação – modelagem

Para a etapa de avaliação do desempenho da edificação por meio de simulações computacionais foi preciso anteriormente fazer a modelagem do empreendimento. Para isso, optou-se pelo uso da ferramenta BIM Revit combinada, a posteriori, com as ferramentas de simulação. A escolha da proposta a ser seguida baseou-se na busca de outros trabalhos acadêmicos que tenham feito estudos similares. Utilizou-se como proposta inicial Araujo (2018) e também Queiróz, Grigoletti e Santos (2019) que testam vários cenários de interoperabilidade sendo um deles o mesmo que Araujo (2018).

Inicialmente foram recebidas uma planta arquitetônica e uma planta de corte da empresa construtora do empreendimento. A partir dessas informações foi desenvolvido um modelo da edificação no Revit. Ressalta-se que em caso de dúvidas foi entrado em contato com os profissionais da empresa para esclarecimentos quando a edificação em geral, por exemplo a composição detalhada das paredes (APÊNDICE E, p.155). Ademais, a empresa acompanhou e validou o processo de desenvolvimento do modelo Revit.

O desenvolvimento do modelo seguiu algumas etapas, sendo elas:

- Criação da envoltória da edificação com as paredes já nas espessuras totais adequadas;
- Criação das paredes internas;
- Verificação das dimensões dos cômodos;
- Ajuste da composição das paredes, onde as paredes básicas do Revit foram transformadas em paredes de *light wood frame* com as devidas camadas e espessuras;
- Incorporação das especificações térmicas das camadas (densidade aparente, calor específico e condutividade térmica) segundo valores do DATec nº020C (BRASIL, 2017a).

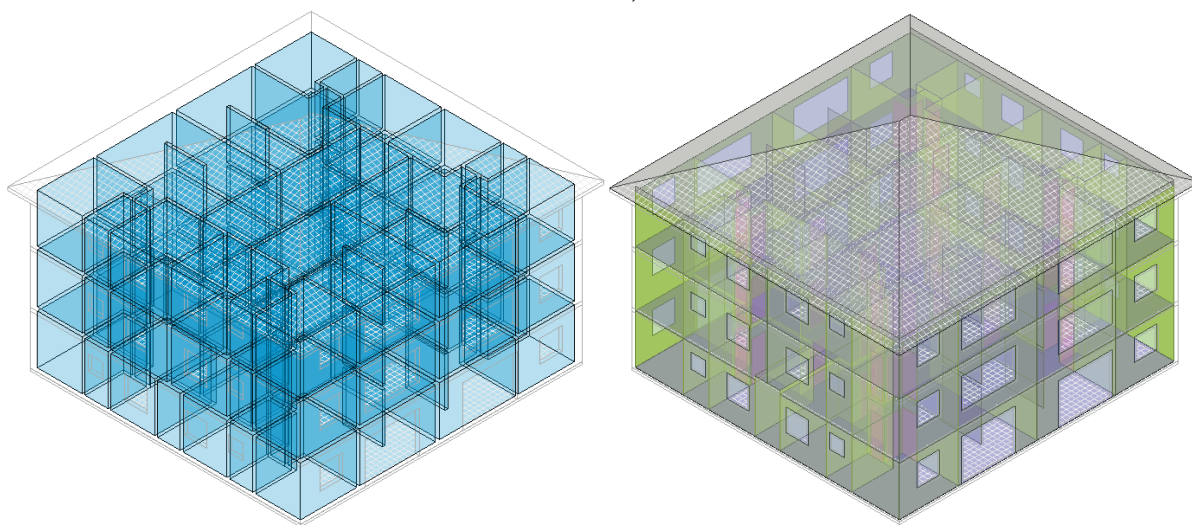
Quando o modelo Revit estava pronto foram criados os ambientes com áreas, segundo seus usos. Puderam ser feitas algumas simplificações no desenvolvimento do modelo Revit. Não foram posicionados os montantes de madeira, foi apenas deixado uma camada de ar caracterizando o espaço que estes ocupariam. Essa simplificação se dá ao fato de que o EnergyPlus não considera os montantes nas

avaliações de desempenho. O próprio DATec nº020C (BRASIL, 2017a) não indica as especificações térmicas desse material considerando-o apenas, para o fim proposto, como uma camada de ar. Uma outra diferenciação entre o projeto e o DATec nº020C (BRASIL, 2017a) foi quanto a inclinação da cobertura que no documento era prevista em 35% e no projeto 40%.

Ademais, foi configurada, na aba Gerenciar do Revit, a localização do modelo e também a posição do norte verdadeiro do projeto, para isso foram utilizadas as ferramentas Localização e Posição (Rotacionar o norte verdadeiro), respectivamente. Para encontrar o norte verdadeiro do projeto foi utilizado o Google *Earth* que mostra a orientação do local.

Após o modelo base ter sido desenvolvido, ele foi exportado no formato gbXML utilizando os volumes do ambiente, uma das formas possíveis de exportação dadas pela ferramenta. Antes da exportação é possível conferir visualmente se todos os ambientes foram criados e identificados e também conferir as superfícies analíticas (paredes, pisos, portas e janelas). O Revit disponibiliza uma lista dos ambientes identificados e caso aja alguma inconsistência, essa é indicada por meio de um símbolo de aviso. Depois de verificar todas essas informações é possível concluir a exportação do modelo. A FIGURA 18 mostra os detalhes da exportação gbXML com os ambientes e as superfícies analíticas detectadas no processo de exportação.

FIGURA 18 – EXPORTAÇÃO DO MODELO REVIT EM gbXML: VISUALIZAÇÃO DOS AMBIENTES E SUPERFÍCIES ANALÍTICAS, RESPECTIVAMENTE.

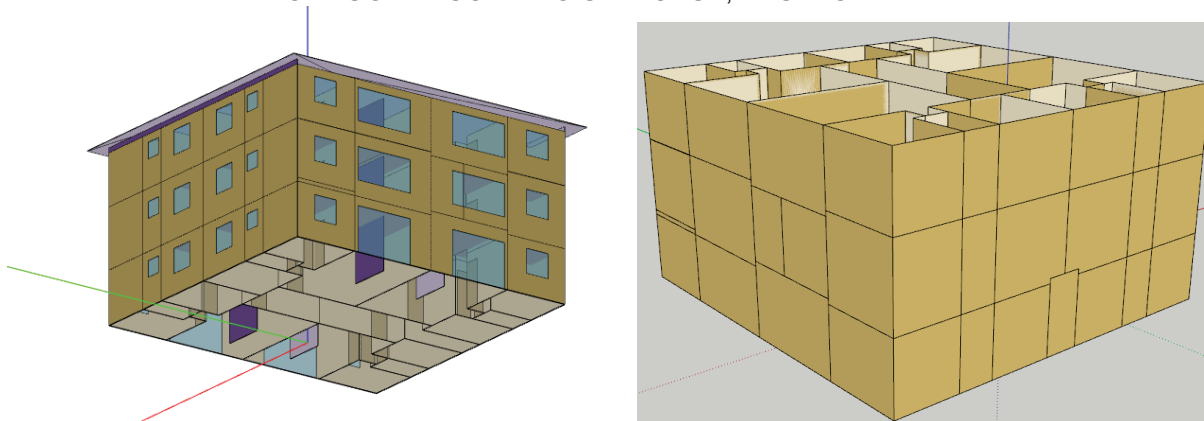


FONTE: A autora (2019).

Posteriormente, continuando a seguir a proposta de Araujo (2018), o modelo gbXML foi importado para a ferramenta OpenStudio. Por meio da aba “*geometry*” do OpenStudio é possível verificar visualmente se a geometria da edificação foi exportada corretamente. Foi então verificado que a geometria exportada continha falhas sendo as primeiras a serem detectadas visualmente a separação das paredes por meios de linhas que não delimitavam ambientes e a falta do piso térreo.

Apesar disso, em Araujo (2018) o OpenStudio é usado nessa etapa apenas para a conversão do arquivo em formato gbXML para IDF, sendo a conferência da geometria realizada apenas no SketchUp. Dessa forma seguiu-se a proposta da autora e o arquivo exportado em IDF no OpenStudio foi importado no SketchUp. Como o SketchUp não faz a importação de arquivos IDF é utilizado o *plug-in* Euclid (antigo Legacy OpenStudio para SketchUp) para conseguir abrir esse formato de arquivo. A visualização geométrica desse arquivo apenas confirmou as inconsistências já vistas no OpenStudio além da cobertura não ter sido carregada (FIGURA 19).

FIGURA 19 – INCONSISTÊNCIAS GEOMETRICAS NA IMPORTAÇÃO gbXML NO OPENSTUDIO E IDF NO PLUG-IN EUCLID NO SKETCHUP, RESPECTIVAMENTE.



FONTE: A autora (2019).

Nessa etapa, tanto Araujo (2018) quanto Queiróz, Grigoletti e Santos (2019), relataram a existência de pequenas falhas nas geometrias importadas. Foram testadas alterações nos pisos e coberturas a fim de gerar um modelo final em IDF mais próximo do modelo original mas nenhuma das alterações resultou em um menor número de inconsistências visuais.

Diante das falhas na geometria exportada foi estudada uma outra forma de exportar e importar os arquivos entre as ferramentas buscando uma alternativa em

que o modelo continuasse o mais próximo possível do modelo desenvolvido no Revit (modelo original). Por fim, a alternativa testada que produziu melhores resultados foi utilizar a versão SketchUp 2017, ao invés da versão 2018 que estava sendo usada, pois essa versão comporta tanto o *plug-in* do OpenStudio quando sua atualização agora chamada de Euclid. A diferença entre essa alternativa em comparação com a tentativa inicial é que com o uso do *plug-in* do OpenStudio é possível importar arquivos diretamente no formato gbXML.

Sendo assim, a alternativa seguida foi utilizar o *plug-in* do OpenStudio dentro do SketchUp 2017. Para fazer sua instalação basta fazer o *download* do *software* OpenStudio que o arquivo dessa extensão, ou *plug-in*, é instalado junto. Ao fazer o uso do SketchUp a associação entre as ferramentas acontece de forma automática ou pode ser gerenciada na aba “Janela”.

Após a instalação, o modelo exportado do Revit em gbXML foi importado nesse mesmo formato dentro do SketchUp por meio do *plug-in* do OpenStudio. Foi verificado visualmente que essa exportação e importação resultou em um modelo mais próximo do original, desenvolvido no Revit. Sendo assim essa alternativa de importação foi a escolhida. Pequenos erros de geometria foram corrigidos no próprio SketchUp. Então, por meio das ferramentas do *plug-in* do OpenStudio, selecionando a opção inspetor, foi verificado que as paredes foram exportadas como paredes e as portas e janelas como portas e janelas, respectivamente.

O modelo foi então salvo dentro do SketchUp no formato próprio do Open Studio (formato osm). Dessa forma o modelo precisa ser apenas aberto no OpenStudio, não necessitando de outra importação.

Depois de abrir o modelo no OpenStudio deve-se conferir se as informações de materiais inseridas no modelo Revit foram carregadas corretamente durante o processo. Em algumas tentativas nenhuma informação foi carregada, o que pode ser conferido na aba lateral do OpenStudio *Constructions>Materials*. Se esse for o caso, é necessário retornar ao arquivo Revit e salvar novamente o arquivo. O processo teve que ser repetido algumas vezes até que as informações fossem carregadas corretamente.

Por fim, as principais etapas referentes a interoperabilidade entre as ferramentas foram completadas sendo possível começar o processo de simulação. As ferramentas utilizadas, e respectivas versões, podem ser vistas no APÊNDICE K (p. 164).

3.2.5.3 ETAPA 5.3: simulação do desempenho térmico

Segundo a NBR 15575-1 (ABNT, 2013a), avaliações de desempenho térmico da edificação são previstas quando “a avaliação de transmitância térmica e capacidade térmica, conforme os critérios e métodos estabelecidos nas ABNT NBR 15575-4 e ABNT NBR 15575-5, resultem em desempenho térmico insatisfatório” (NBR 15575-1 (ABNT, 2013a, p.19)). Apesar de não terem sido realizadas a avaliação de transmitância térmica e capacidade térmica, foi realizado o processo de simulação.

Para configurar os parâmetros das simulações foram utilizadas as informações sobre simulações encontradas na NBR 15575-1 (ABNT, 2013a), além das informações sobre simulações e características do sistema construtivo LWF presentes no SINAT nº 005 (BRASIL, 2017b) e no DATec nº020C (BRASIL, 2017a), além das informações disponibilizadas pela própria construtora.

A NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) recomenda que seja usado o programa EnergyPlus, porém, como a interface do OpenStudio é mais amigável com o usuário esse foi o programa escolhido. Apesar disso, dentro do OpenStudio pode ser usado o EnergyPlus. Dessa forma, os resultados gerados pelo OpenStudio são os mesmos do que os do EnergyPlus.

Além disso, cada ambiente deve ser considerado uma zona térmica e na composição de materiais para a simulação deve-se utilizar dados das propriedades térmicas dos materiais e/ou componentes construtivos (NBR 15575-1 (ABNT, 2013a)). Para obter essas informações, conversou-se com a empresa do estudo de caso que informou que essas estavam disponíveis no DATec nº020C (BRASIL, 2017a). Os valores utilizados podem ser observados no QUADRO 8. Tais informações foram inseridas no próprio Revit, antes do processo de exportação, e conferidas no OpenStudio.

QUADRO 8 – ESPECIFICAÇÕES TÉRMICAS

Material	Densidade aparente	Calor específico	Condutividade térmica
OSB	681kg/m ³	2300J/kg.K	0,17W/m.K
Placas cimentícias	1700kg/m ³	1000J/kg.K	0,35W/m.K
Base coat (argamassa cimentícia)	1840kg/m ³	1000J/kg.K	1,15W/m.K
Gesso para drywall	750kg/m ³	840J/kg.K	0,35W/m.K
Argamassa colante	2000kg/m ³	1000J/kg.K	1,15W/m.K
Placas de piso cerâmico	1600kg/m ³	920J/kg.K	0,90W/m.K
Telhas cerâmicas	2000kg/m ³	920J/kg.K	1,05W/m.K
Lã de vidro	10,35kg/m ³	700J/kg.K	0,045W/m.K

FONTE: Adaptado de DATec nº020C (BRASIL, 2017a).

No caso da lâ de rocha, utilizada na parede de geminação entre quartos, seus valores não estão apresentados no DATec nº020C (BRASIL, 2017a), esses foram buscados na norma NBR 15220-2 (ABNT, 2008), como recomenda a NBR 15575-1 (ABNT, 2013a), e podem ser observados no QUADRO 9.

QUADRO 9 – ESPECIFICAÇÕES TÉRMICAS – LÃ DE ROCHA

Material	Densidade aparente	Calor específico	Condutividade térmica
Lã de rocha	20-200kg/m³	750J/kg.K	0,045W/m.K

FONTE: Adaptado de NBR 15220-2 (ABNT, 2008).

A norma ainda pede que para as paredes seja assumido um valor da absorptância à radiação solar correspondente à cor definida no projeto. Como as paredes são todas claras o valor da absorptância foi tomado como sendo 0,3, como indicado na norma.

Para iniciar a simulação, com o modelo já aberto no OpenStudio, foi inserido o arquivo climático dentro do *software*. Foi adicionado o arquivo climático *Test Reference Year* (TRY) de Curitiba, desenvolvido pelo LabEEE, como feito em Araujo (2018) e Queiróz (2016). O arquivo pode ser baixado no site do LabEEE em vários formatos. Para o caso do estado do Paraná existem arquivos disponíveis para as cidades de Maringá e a capital Curitiba (LABEEE, 2018). Como o estudo de caso encontra-se na região metropolitana de Curitiba, esse foi o arquivo escolhido.

Para configurar a simulação deve-se entrar na aba “Medidas” (*Measures*) e então clicar no canto direito na opção “encontrar medidas na BCL” (*find measures on BCL*). Para ter acesso a essas ferramentas é preciso fazer um cadastro no site da *Building Component Library* (BCL) e inserir o código informado no OpenStudio.

Dentro da BCL foram selecionadas as opções:

- *Add Wind and Stack Open Area*: Opção dentro da parte de aberturas da edificação, referente as configurações do EnergyPlus. Essa ferramenta modela a ventilação natural para zonas térmicas com janelas operáveis;
- *OpenStudio Results*: cria tabelas e gráficos, retirando os resultados dos modelos e os resultados do EnergyPlus. Ele tem informações de nível de construção, bem como detalhes sobre tipos de espaço, zonas térmicas, sistemas HVAC, características de envelope e economia;

- *ExportVariablestoCVS*: exporta uma variável especificada no OpenStudio para um arquivo csv. Foi utilizado para exportar valores de temperatura média por ambiente.

Depois de terem sido feitos todos os *downloads* necessários as opções selecionadas ficam disponíveis para serem usadas na simulação. Antes de executar a simulação é preciso também informar ao programa qual o cronograma de abertura das janelas, isso é feito na aba “Cronograma” (*Schedules*). Caso essa etapa não seja completada aparecerá um item de alerta ao lado da opção *Add Wind and Stack Open Area*, uma vez que essa ferramenta esteja relacionada com as aberturas das janelas.

Ademais, é preciso informar para o OpenStudio quais variáveis devem ser exportadas dentro da opção *ExportvariablestoCVS*, para isso devem ser ativadas as opções desejadas na aba *Output Variables*.

Por fim, com todos os parâmetros configurados e conferidos foi possível executar a simulação. Ressalta-se que, assim como o processo de modelagem, o processo de simulação passou por diversas tentativas até que os resultados desejados fossem alcançados. A cada tentativa, depois de desenvolver a simulação térmica no OpenStudio, foi gerado um arquivo com a descrição dos erros presentes no modelo e/ou na simulação. Foi preciso retornar ao modelo algumas vezes a fim de solucionar tais situações. Nesses arquivos eram descritos quais erros tinham acontecido e qual a importância desse erro, ou urgência em resolvê-los. Enfim, chegou-se a uma simulação que acusou erros do tipo avisos (*warnings*), que foram considerados por Queiróz (2016) como sendo erros leves que não comprometem o andamento da simulação e podem ser corrigidos quando necessário.

Por fim, a simulação foi executada para toda a edificação considerando o ano de 2018.

3.2.5.4 ETAPA 5.4: simulação de iluminação natural

Diferentemente da avaliação do desempenho térmico por simulação, a NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) não sugere qual ferramenta deve ser usada para o desenvolvimento da simulação de iluminação natural. Dessa forma, fica a cargo do pesquisador escolher a ferramenta mais apropriada para a simulação de acordo com seus conhecimentos e disponibilidade. Diante de diversas opções, foi buscada uma ferramenta gratuita, de interface simples e rápido aprendizado, tendo sido selecionada

a ferramenta DIALux evo.

Ao começar a simulação no DIALux evo foi preciso importar o arquivo com a geometria da edificação. Optou-se por realizar essa importação no formato IFC, uma vez que os formatos gbXML e osm (OpenStudio), não são suportados pela ferramenta. Sendo assim, retornou-se ao Revit para exportar o modelo em IFC e então importá-lo dentro do Dialux evo. A geometria foi exportada e importada corretamente, o que pode ser conferido no próprio Dialux evo, e o processo de simulação teve continuidade.

Então, com o modelo da edificação aberto na ferramenta foi configurado, na aba Construção, o local da edificação. A cidade de Araucária, local do empreendimento, e Curitiba não estão disponíveis na ferramenta. Porém, é possível fazer o reconhecimento da localização por meio da latitude e longitude do edifício. Assim foi configurado o local da edificação e também o fuso horário.

Passou-se então para a aba Luz (*Light*) aonde alguns parâmetros da simulação foram ajustados. Nessa aba foi escolhida a situação do dia em questão entre as opções: sem luz solar, dia claro/limpo, céu médio e céu nublado. Foi selecionada a opção céu médio uma vez que de acordo com a NBR 15575-1 (ABNT, 2013a, p.24) deve-se “supor dias com nebulosidade média”. Foi feita a verificação visual de qual das opções seria a mais adequada, procurando a que mais se adequasse a descrição dada na norma.

A norma em questão apresenta ainda outros critérios para a simulação, como já identificado no protocolo de simulações, que foram seguidos segundo a disponibilidade das opções da ferramenta DIALux evo. Para o caso de conjuntos habitacionais constituídos por edifícios multipiso, deve-se considerar todas as orientações típicas das diferentes unidades e também as diferentes posições dos apartamentos nos andares. Apesar disso, de acordo com o objetivo do trabalho, foram comparados os resultados da avaliação *in loco* e simulação no mesmo apartamento (unidade de análise).

Ademais, a norma indica que as simulações devem ser realizadas nos períodos da manhã (9:30h) e da tarde (15:30h), respectivamente para os dias 23 de abril e 23 de outubro. Foram feitas essas simulações e também para o dia 29 de setembro, dia das medições *in loco*. Quanto a edificações vizinhas, taludes, muros e outros possíveis anteparos, que possam resultar em eventuais sombreamentos, foi visitado o local do empreendimento e verificou-se que não existiam obstáculos a luz solar no apartamento em questão.

Ainda segundo a norma, os cômodos que devem ser avaliados são a sala de estar, os dormitórios, a cozinha/copa e a área de serviço. Tais cômodos devem alcançar um nível de iluminância geral para iluminação natural maior ou superior a 60 lux, sendo esse o valor para o nível mínimo de desempenho disposto na norma.

Devido a geometria da edificação, o DIALux evo considerou a sala, cozinha e área de serviço como um só ambiente, uma vez que sejam limitados pelas mesmas paredes e dividirem a mesma janela, apesar de existir uma parede parcial. Anteriormente, dentro do Revit, foram criados separadores de ambiente dividindo os cômodos em questão, porém, esses não foram carregados para o DIALux evo, que refez automaticamente o reconhecimento e denominação dos cômodos da edificação. Apesar disso, como o DIALux evo disponibiliza visualmente informações sobre toda a superfície do ambiente, foi possível fazer a verificação da sala, cozinha e área de serviço.

Diferentemente da simulação térmica, em que foi gerada uma tabela com os dados térmicos referentes ao ano de 2018, no caso da simulação de iluminação natural foi preciso realizar uma simulação referente a cada hora objeto do estudo. Assim, esse processo foi repetido gerando os resultados necessários.

3.2.6 ETAPA 6: Resultados e análises da avaliação pré-ocupação por meio de medições em campo e simulações computacionais

A ETAPA 6 consistiu na comparação entre os resultados encontrados na avaliação pré-ocupação, tanto em campo quanto nas simulações, e comparação também com os valores indicados nas normas cabíveis, principalmente a NBR 15575 (ABNT, 2013a, 2013b, 2013c, 2013d, 2013e, 2013f), como descrito nos capítulos 4 e 5.

3.2.7 ETAPA 7: possíveis melhorias e respectivas propostas

Nesta etapa são relatadas as conclusões da pesquisa visando identificar se o objetivo foi atingido e se o problema de pesquisa foi respondido. Além disso, são sugeridos assuntos para serem trabalhados futuramente dentro da academia e do setor industrial em que a pesquisa está inserida. A ETAPA 7 foi descrita no capítulo 6 da presente pesquisa.

4. RESULTADOS

O Capítulo 4 tem por objetivo expor os resultados encontrados durante o desenvolvimento da pesquisa. Os resultados foram divididos em avaliação pré-ocupação *in loco* e avaliação pré-ocupação por simulações de desempenho, respeitando assim o objetivo da pesquisa e as etapas adotadas.

Ainda seguindo o objetivo proposto, as duas formas de avaliação compartilham a mesma unidade de análise. Conforme apresentado no método, a escolha do empreendimento seguiu diversos fatores, como o uso do método construtivo industrializado LWF e sua localização geográfica. O apartamento que representou a unidade de análise, por sua vez, foi escolhido pela empresa do estudo de caso em questão sendo este localizado na parte frontal da primeira torre do empreendimento, composto por quatro torres.

A seguir são dispostos os resultados encontrados na avaliação pré-ocupação com medições em campo e realizada por meio das simulações.

4.1 AVALIAÇÃO PRÉ-OCUPAÇÃO MEDIÇÕES *IN LOCO*

A avaliação pré-ocupação realizada por meio da mensuração quantitativa das características físicas do local, as medições *in loco*, seguiram o protocolo de coleta de dados exposto no QUADRO 5 (p.78). Este foi testado e validado por meio de um teste piloto que auxiliou na checagem do processo de coleta de dados estabelecido por meio do protocolo. Enfim, foram os dados foram coletados e os respectivos resultados, divididos de acordo com os critérios da dimensão 2, são apresentados a seguir.

4.1.1 Conforto térmico

O critério conforto térmico possui dois subcritérios, a temperatura interna e a variação de temperatura. As medições seguiram o protocolo de coleta de dados e foram feitas utilizando um termo higrômetro, que mediu as temperaturas internas, e um *datalogger* posicionado externamente.

No caso da temperatura interna, a avaliação desse subcritério é prevista na NBR 15575-1 (ABNT, 2013a), porém apenas de forma informativa sendo que não são indicados valores de referência a fim de avaliar se o resultado encontrado por meio de medições físicas atende ou não a norma. Dessa forma usou-se os valores da

norma quanto as simulações de desempenho térmica tanto para a avaliação por meio de medições quanto, posteriormente, para as simulações.

Sendo assim, segundo a NBR 15575-1 (ABNT, 2013a), para ter um desempenho térmico mínimo adequado, uma edificação da zona bioclimática 1, zona em que o estudo de caso está inserido, deve respeitar os critérios do QUADRO 10.

QUADRO 10 – CRITÉRIOS DE DESEMPENHO TÉRMICO ESTIPULADOS PELA NBR 15575-1

VERÃO	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$
INVERNO	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 3^{\circ}\text{C})$
Ti,max é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;	
Te,max é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius;	
Ti,min é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;	
Te,min é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.	

FONTE: Adaptado de NBR 15575-1 (ABNT, 2013a).

Como pode ser observado no QUADRO 10, a NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) estabelece critérios quanto ao verão e o inverno. A avaliação pré-ocupação ocorreu durante o início da primavera, por isso foi escolhido comparar seus resultados tanto com os parâmetros de verão quanto de inverno. O APÊNDICE F (p. 156) mostra as temperaturas internas medidas com o termo higrômetro e as respectivas temperaturas externas, medidas com o *datalogger* externo.

Foram então identificadas as temperaturas máximas e mínimas diárias medidas em cada um dos cômodos (QUADRO 11). A avaliação da temperatura interna mostra que os três cômodos avaliados, selecionados de acordo com a norma, atendem os requisitos mínimos de desempenho tanto de verão quanto de inverno.

QUADRO 11 – AVALIAÇÃO DA TEMPERATURA INTERNA DOS DORMITÓRIOS E SALA

CÔMODO	Ti,max (°C)	Te,max* (°C)	ATENDE VERÃO	Ti,min (°C)	Te,min* (°C)	ATENDE INVERNO
DORMITÓRIO 1	25,5	26,4	SIM	22,5	19,1	SIM
DORMITÓRIO 2	25,3		SIM	22,8		SIM
SALA	26,5		SIM	22,1		SIM

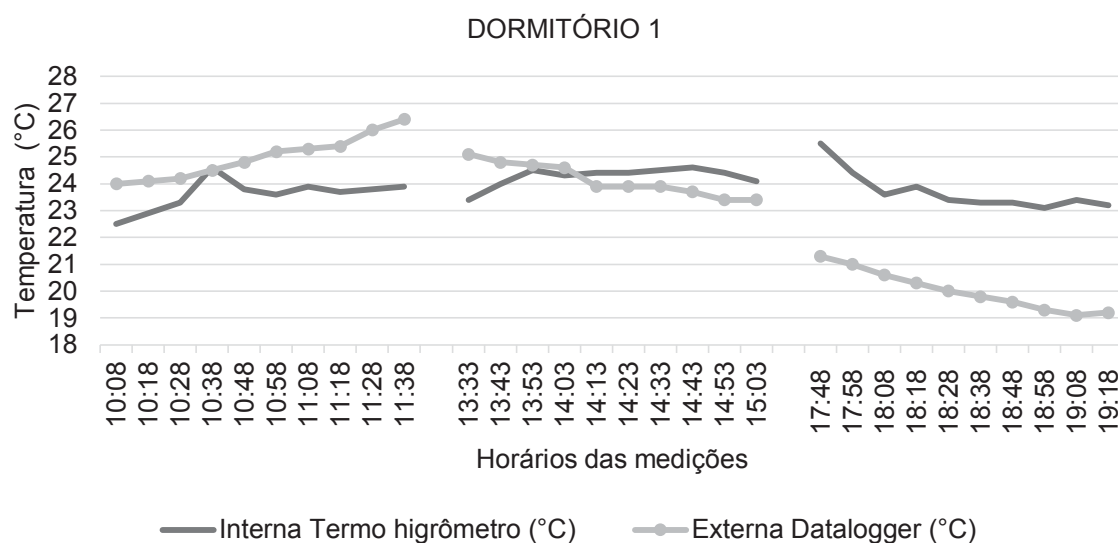
FONTE: A autora (2019).

Já no caso da variação térmica foi comparada a variação térmica de cada um dos cômodos com a variação da temperatura externa, como pode ser visto nos GRÁFICOS 3, 4 e 5. Os gráficos mostram as linhas da variação da temperatura interna e externa para os três cômodos avaliados durante três ciclos.

Percebe-se que a tendência da variação interna e externa no primeiro ciclo

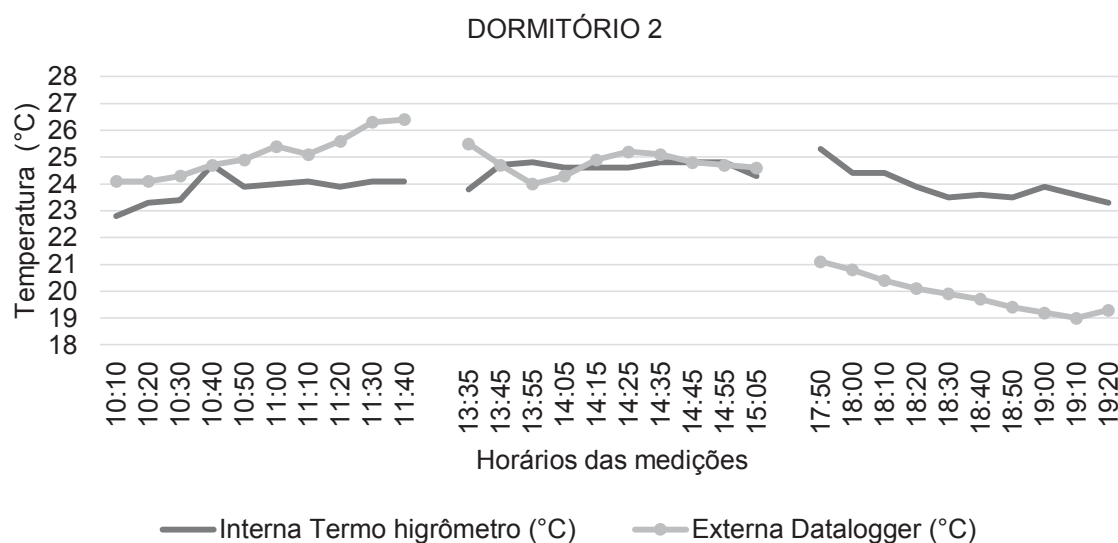
foram parecidas com a presença de picos. Já no segundo ciclo as temperaturas oscilaram menos, ou seja, a diferença entre temperaturas foi menor e as linhas de tendência se mesclaram. O terceiro ciclo foi o qual tendência da variação interna e externa mais se assemelharam e no qual também puderam ser observadas as maiores diferenças de temperaturas internas e externas, essas representadas pela distância entre a linha de variação interna e a linha de variação externa.

GRÁFICO 3 – VARIAÇÃO TÉRMICA INTERNA E EXTERNA NOS TRÊS CICLOS – DORMITÓRIO 1



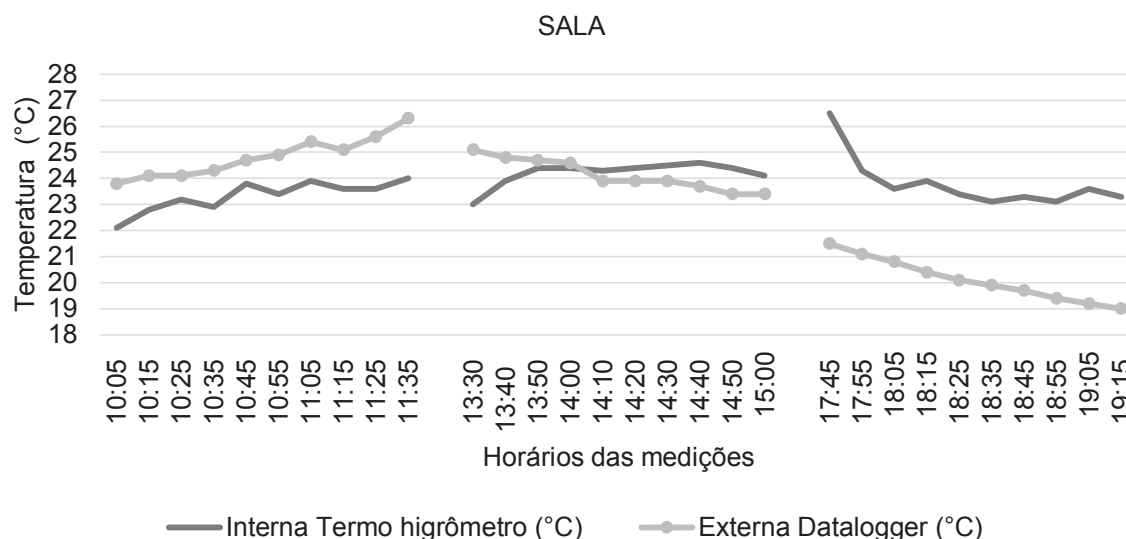
FONTE: A autora (2019).

GRÁFICO 4 – VARIAÇÃO TÉRMICA INTERNA E EXTERNA NOS TRÊS CICLOS – DORMITÓRIO 2



FONTE: A autora (2019).

GRÁFICO 5 – VARIAÇÃO TÉRMICA INTERNA E EXTERNA NOS TRÊS CICLOS – SALA



FONTE: A autora (2019).

Apesar desse tipo de avaliação mais global sobre a variação de temperatura não ser prevista em norma, essa análise possibilitou a visualização da temperatura interna e externa durante um dia (três ciclos de trabalho). Com isso pode-se constatar que as temperaturas internas permanecem no centro dos gráficos, aonde estão as temperaturas médias do dia. Ou seja, comparando a linha da variação externa unificada dos três ciclos e a de variação interna, nota-se que a edificação é capaz de manter a temperatura interna mais constante e amena do que as condições externas.

4.1.2 Conforto acústico

Inicialmente, seguindo a proposta de Sotsek et al. (2019), dividiu-se o conforto acústico em dois critérios: nível de ruído interno e nível de ruído externo. Essa diferenciação pode ser feita se disponível os equipamentos indicados na NBR 15575 partes 3, 4 5 e 6 (ABNT, 2013c, 2013d, 2013e, 2013f), porém caso seja necessário um procedimento simplificado é indicada a utilização da ISO 10052 (ISO, 2004). Dessa forma, devido a indisponibilidade de equipamentos foi seguido o procedimento simplificado da ISO 10052 (ISO, 2004).

Ademais, no Brasil existe a NBR 10152 (ABNT, 2017b) que foi elaborada com base na ISO 10052 (ISO, 2004), entre outras normas, e que também apresenta um método simplificado para a avaliação dos níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificação. Essa norma foi atualizada posteriormente a publicação do grupo

de normas NBR 15575 e foi a alternativa seguida. Assim, foi feita a avaliação do conforto térmico utilizando um decibelímetro portátil.

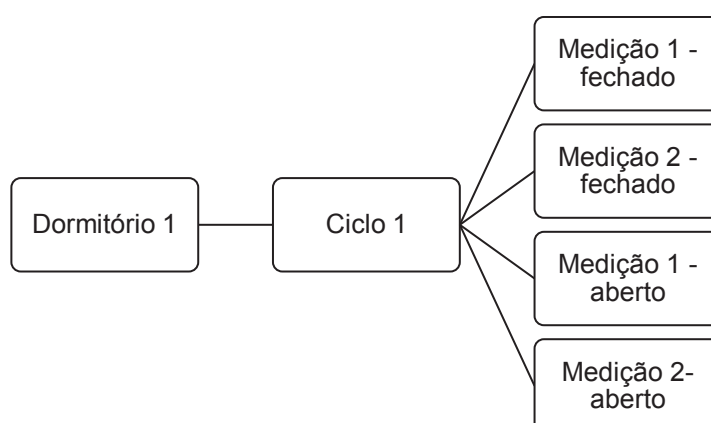
A fim de avaliar a diferença entre os ruídos internos e externos foram feitas medições tanto com as aberturas (portas e janelas) abertas quanto fechadas. Ademais, a norma NBR 10151 (ABNT, 2003) indica que as medições sejam feitas com as portas e janelas na posição habitual de uso e como a edificação ainda não possui habitantes foi decidido avaliar todas as situações possíveis.

As medições com as portas e janelas fechadas foram feitas dentro dos ciclos de medições 1, 2 e 3. Já as medições com as portas e janelas abertas (estando a porta de entrada do apartamento sempre fechada) foram feitas fora de cada ciclo de modo a evitar variações de temperatura e umidade, atrapalhando a avaliação de outros subcritérios da pesquisa.

Ademais, foram feitas medições externas em um ponto no hall de entrada do prédio e outro ponto externo a edificação, a fim de avaliar a diferença entre o ruído interno e o externo e também respeitar os subcritérios da dimensão 2. Ambos os pontos são posicionados o mais perto possível da edificação.

Foram feitas quatro medições por ciclo em cada cômodo, sendo duas com portas e janelas fechadas e duas com portas e janelas abertas. A FIGURA 20 mostra um exemplo da lógica das medições.

FIGURA 20 – EXEMPLO DA LÓGICA DAS MEDIÇÕES DE CONFORTO ACÚSTICO



FONTE: A autora (2019).

Depois de terem sido realizadas todas as medições foi calculado o nível de pressão sonora equivalente em cada um dos cômodos, chamados de L_{Aeq} sendo A

um cômodo qualquer, seguindo equação apresentada na ISO 10052 (ISO, 2004), NBR 10151 (ABNT, 2003) e NBR 10152 (ABNT, 2017b).

$$L_{Aeq} = 10 \times \log_{10} \left[\frac{1}{n} \times \left(10^{\frac{L_{Aeq,30s,p1}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{Aeq,30s,pn}}{10}} \right) \right] \text{dB} \quad (1)$$

Na Equação (1) a letra “n” representa o número de pontos de medições distribuídos no ambiente. Todas as medições foram feitas no mesmo ponto do cômodo devido ao tamanho dos cômodos mas como foram feitas 30 medições o valor de “n” foi de 30.

Os valores medidos e o resultado do nível da pressão sonora obtido estão presentes no APÊNDICE G (p. 157) de acordo com cada cômodo. Os resultados dos dormitórios e sala foram então comparados com os valores de referência para ambientes internos de uma edificação de acordo com as finalidades de uso, sendo estes indicados em norma (NBR 10152 (ABNT, 2017b)). No caso de edificações residenciais os valores são apresentados no QUADRO 12.

Segundo a NBR 10152 (ABNT, 2017b, p. 17) “quando as medições forem feitas pelo método simplificado, a avaliação é realizada pela comparação dos níveis de pressão sonora, equivalente L_{Aeq} e máximo L_{ASmax} , representativos do ambiente” com os valores apresentados em norma de RL_{Aeq} e RL_{ASmax} , respectivamente, estes são apresentados no QUADRO 12. Ressalta-se que o L_{ASmax} é o valor máximo medido naquele ciclo e ambiente.

QUADRO 12 – VALORES DE REFERÊNCIA PARA AMBIENTES INTERNOS DE UMA EDIFICAÇÃO DE ACORDO COM SUAS FINALIDADES DE USO

Valores de referência		
Finalidade de uso - Residências	RL_{Aeq} (dB)	RL_{ASmax} (dB)
Dormitório	35	40
Sala de estar	40	45

FONTE: Adaptado de NBR 10152 (ABNT, 2017b).

Como resultado, quanto ao RL_{Aeq} , os dois dormitórios e a sala atendem a norma quando avaliado as medições com aberturas fechadas e não atendem com as janelas abertas. A mesma situação se repetiu para o RL_{ASmax} , os dormitórios e a sala atenderam aos valores de níveis de pressão sonora máximo com as janelas fechadas e não atenderam com as janelas abertas.

Apesar dos resultados com as janelas abertas não terem atendido os valores

propostos em norma, comparando esses valores com os valores medidos nos ambientes externos (sem a proteção acústica da edificação) percebe-se que, mesmo com as janelas abertas, a edificação absorve consideravelmente os ruídos externos, principalmente em relação aos dormitórios, ambientes esses que devem ser os mais silenciosos. Além disso, o morador com o simples fechamento de suas janelas é capaz de adequar o desempenho acústico da edificação de forma a respeitar os valores impostos por norma.

4.1.3 Conforto visual

O critério conforto visual possui apenas um subcritério: a iluminação natural. Esta possui sua medição prevista na NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) por meio do uso de um luxímetro portátil.

Segundo a norma, para a avaliação da iluminação natural por meio do método de medições deve-se medir com auxílio de equipamento adequado a iluminação natural sem nenhum tipo de interferência de iluminação artificial. Essa avaliação deve ser conduzida em pelo menos quatro cômodos, sendo eles: a sala de estar, a copa/cozinha, a área de serviço e dormitório. No estudo de caso, como existem dois dormitórios foram feitas medições em cinco cômodos.

Além disso, para calcular o FLD, que é o item da norma referente a medições *in loco* de iluminação natural, deve-se medir também a iluminação natural em um ponto externo a edificação na sombra. Após tais informações terem sido coletadas é utilizada a equação apresentada na NBR 15575-1 (ABNT, 2013a):

$$FLD = 100 \times \frac{E_i}{E_e} \quad (2)$$

Onde:

E_i é iluminância no interior da dependência;

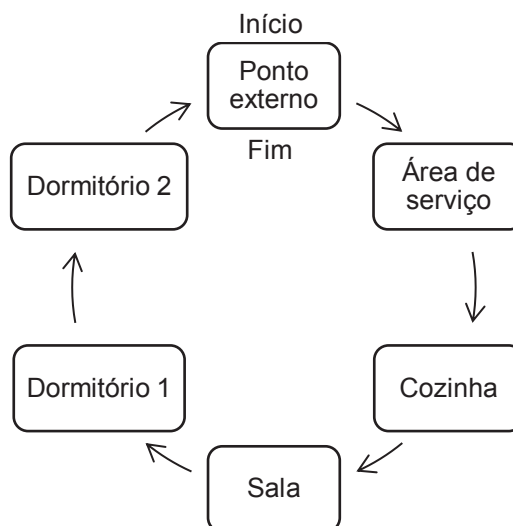
E_e é iluminância externa à sombra.

Para atender o nível mínimo de desempenho de iluminação natural por meio de medição *in loco*, o FLD deve ser igual ou superior a 0,50% nos cômodos definidos.

As medições de iluminação natural seguiram a ordem apresentada da FIGURA 21. O ponto externo foi o primeiro e o último ponto avaliado em cada um dos ciclos de medição. Sendo assim, existe um valor de medição no ponto externo a mais do que nos cômodos internos. Essa escolha visou reduzir a diferença entre a hora da

medição do ponto externo com os pontos externos.

FIGURA 21 – SEQUENCIA DAS MEDIÇÕES DE ILUMINAÇÃO NATURAL



FONTE: A autora (2019).

O QUADRO 13 apresenta os valores obtidos nas medições da iluminação natural do ponto externo. Esses valores foram usados como a variável E_e , referente a iluminação externa à sombra, na Equação (2).

QUADRO 13 – RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DE ILUMINAÇÃO NATURAL- PONTO EXTERNO

CICLO 1		CICLO 2	
Horário:	Medição (lux):	Horário:	Medição (lux):
10:01	10530	13:28	4010
10:11	11040	13:38	5800
10:21	11960	13:48	4500
10:31	6230	13:58	3030
10:41	5540	14:08	4420
10:51	9270	14:18	3960
11:01	10410	14:28	3128
11:11	8950	14:38	3604
11:21	7420	14:48	4400
11:31	6130	14:58	4100
11:41	6250	15:08	4400

FONTE: A autora (2019).

Com os valores de E_e apresentados foi possível calcular o FLD de cada cômodo nos dois ciclos de medições. Em algumas situações uma medição interna foi feita exatamente no meio de duas medições do ponto externo, nesses casos foi feita a média dos valores da iluminação natural (ciclo 1 - cozinha e ciclo 2 - sala). Na maioria dos casos foi adotado o valor da medição mais próxima. No APÊNDICE H (p.161) são

expostos os resultados obtidos com os respectivos horários de medições, valores das medições e FLDs calculados em cada cômodo.

Os resultados obtidos mostram que todos os cômodos atenderam a norma em todas as leituras feitas, tanto no primeiro quanto no segundo ciclo de medições. Ressalta-se que a norma não indica um número mínimo de leituras a serem feitas em cada cômodo. Dessa forma, se tivesse sido feita apenas uma medição das 9hrs às 15hrs, como estabelecido por norma, a indicação da NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) estaria sendo cumprida. Seguindo essa lógica, mesmo selecionando o pior resultado, sendo esse o valor mais baixo anotado, todos os cômodos atingiriam o valor mínimo de FLD estabelecido.

Os dormitórios 1 e 2 foram os cômodos que tiveram os melhores resultados. Além disso, uma das leituras no dormitório 1 no segundo ciclo de medições mostrou que a iluminação no local era a mesma do que a no ponto externo, resultando em um FLD de 100%.

4.1.4 Qualidade do ar

O critério qualidade do ar é composto por dois subcritérios: a umidade relativa do ar e a ventilação natural. A ventilação natural foi avaliada por meio da análise do projeto, como previsto na NBR 15575-4 (ABNT, 2013d) no requisito aberturas para ventilação.

No caso da zona bioclimática 1 (Curitiba), a norma indica que nos ambientes de permanência prolongada, a área das aberturas seja igual ou superior a 7% da área de piso. Inicialmente foram considerados cômodos de permanência prolongada os dormitórios e a sala de estar, como citado na tabela da norma em questão. Porém, conforme o *layout* do apartamento, que pode ser observado na FIGURA 14 (p. 71), a sala, a cozinha e a área de serviço são divididas por uma parede não ligada nas duas extremidades e a janela da sala é a única janela dos cômodos. Dessa forma, escolheu-se considerar a área total desses ambientes como o pior cenário.

A relação piso/aberturas foi feita para cada um desses cômodos e pode ser vista no QUADRO 14. Como resultado, a relação da área de piso e área de abertura foi superior ao mínimo indicado pela norma em todos os cômodos avaliados. Ressalta-se que todas as aberturas consideradas eram janelas uma vez que a norma indica que portas internas não devem ser consideradas. No caso dos dormitórios, as janelas

são do tipo duas folhas, dessa forma apenas metade da área da janela poderia ser aberta. Já a janela da sala é do tipo três folhas podendo ter até dois terços de sua área sendo aberto para permitir a circulação do ar, então dois terços da área foram considerados.

QUADRO 14 – ÁREA MÍNIMA DE VENTILAÇÃO EM DORMITÓRIOS E SALAS DE ESTAR

Ventilação natural					
Cômodo	Área de piso (m ²)	Abertura (cm)	Área de abertura (m ²)	Área considerada (m ²)	Relação (%)
Dormitório 1	9,00	120x120	1,44	0,72	8,00
Dormitório 2	7,52	120x120	1,44	0,72	9,57
Sala + Cozinha	21,88	290x160	4,64	3,09	14,14

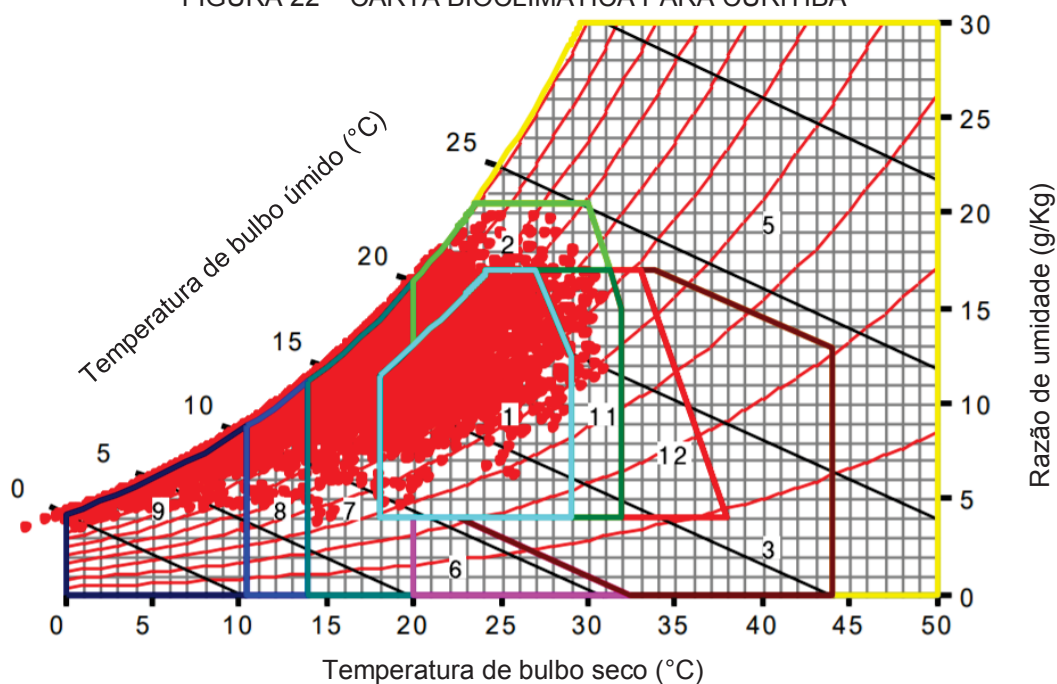
FONTE: Adaptado da NBR 15575-4 (ABNT, 2013d).

Apesar dos resultados encontrados atenderem a norma, a NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) indica que os perfis das janelas sejam desconsiderados. Estudando as dimensões e as especificações do projeto percebe-se que, a fim de atender o critério de ventilação natural, poderiam ser utilizadas janelas com até 2 cm de perfil nos dormitórios. Perfis maiores não atingiriam o valor mínimo no dormitório 1, que mostrou-se o cômodo mais crítico o quesito ventilação natural. No caso da sala e cozinha, os resultados encontrados permitem uma grande folga para a escolha das janelas. Por fim, foram medidos os perfis das janelas e todos os cômodos avaliados atenderam o critério mínimo de ventilação natural.

Já a umidade relativa do ar foi medida com o auxílio de um termo higrômetro, os resultados são expostos no APÊNDICE I (p.162). Apesar da umidade relativa do ar ter sido avaliada sem imprevistos não foram localizadas informações específicas sobre esse item na NBR 15575 (ABNT, 2013a, 2013b, 2013c, 2013d, 2013e, 2013f), SINAT nº 005 (BRASIL, 2017b) ou DATec nº020C (BRASIL, 2017a).

Os resultados obtidos foram então comparados com a carta bioclimática, ferramenta que visa determinar estratégias de adaptação da arquitetura ao clima. No Brasil, a carta bioclimática utilizada é a de Givoni, sendo a mais adequada para países em desenvolvimento (LAMBERTS et al., 2016). Na FIGURA 22 pode ser observada a carta bioclimática da cidade de Curitiba, com suas respectivas zonas bioclimáticas.

FIGURA 22 – CARTA BIOCLIMÁTICA PARA CURITIBA



ZONAS:

- | | |
|-----------------------------|---|
| 1. Conforto | 7. Massa Térmica/ Aquecimento Solar |
| 2. Ventilação | 8. Aquecimento Solar Passivo |
| 3. Resfriamento Evaporativo | 9. Aquecimento Artificial |
| 5. Ar Condicionado | 11. Ventilação/ Massa/ Resfriamento Evaporativo |
| 6. Umidificação | 12. Massa/ Resfriamento Evaporativo |

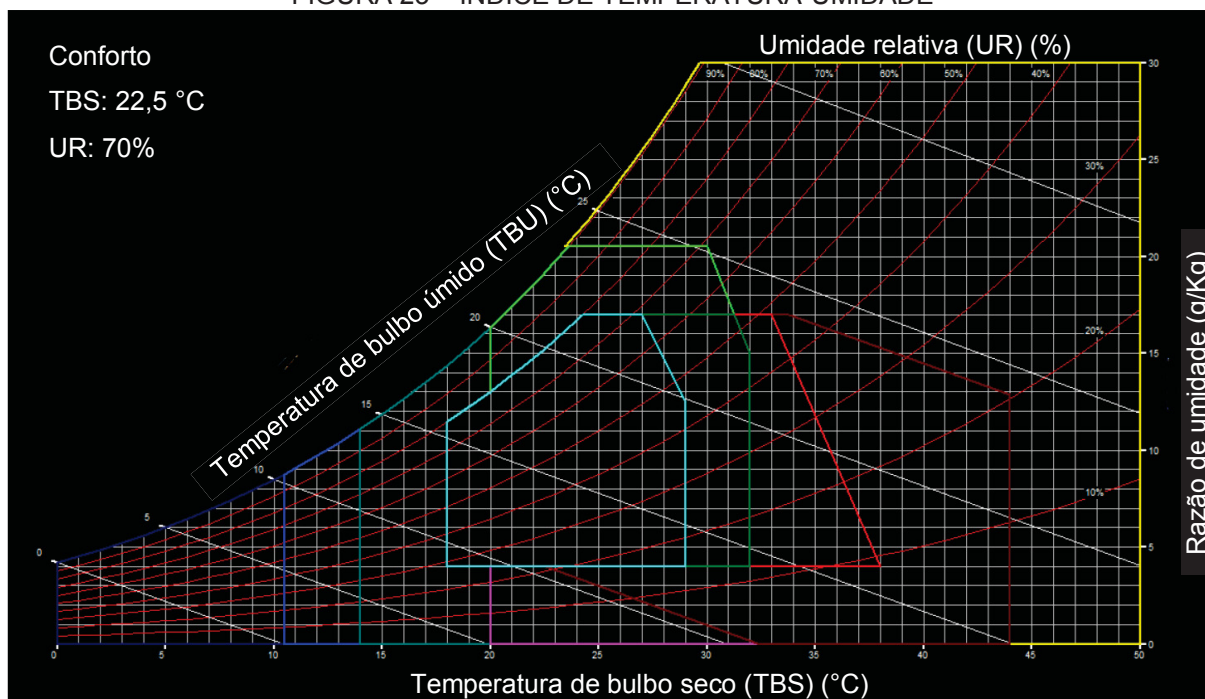
FONTE: LAMBERTS et al. (2016).

Para a realização da avaliação da umidade relativa foi utilizada a ferramenta Analysis Bio, desenvolvido pelo LabEEE da UFSC. Na ferramenta, foi inserido o arquivo climático da cidade em questão. No caso, foi utilizado o arquivo da cidade de Curitiba, sendo que o arquivo pode ser baixado do site do LabEEE. Em seguida é elaborada a carta bioclimática da cidade. Para chegar ao resultado da avaliação, que indica a zona de conforto em que aquele ambiente está, deve-se relacionar a temperatura com a umidade. No caso foi relacionada a temperatura de bulbo seco com a umidade relativa, representada pelas curvas vermelhas na FIGURA 23.

Pode-se então, com o movimento do mouse, localizar pontos dentro da carta, verificando assim em qual zona bioclimática está o ponto inserido. Essa tarefa foi feita para cada um dos pontos, sendo um ponto a interseção entre uma temperatura e uma umidade relativa. Como resultado, todos os pontos de interseção de temperatura e umidade relativa encontram-se dentro da zona bioclimática de conforto, o que significa que nos cômodos avaliados os ocupantes estão em um ambiente que

não precisa ser resfriado e nem aquecido. O APÊNDICE J (p. 163) mostra com mais detalhes a interface da ferramenta Analysis Bio do LabEEE com a carta bioclimática desenvolvida para a cidade de Curitiba.

FIGURA 23 – ÍNDICE DE TEMPERATURA-UMIDADE



FONTE: A autora (2019), via Analysis bio (LABEE).

De acordo com os resultados expostos no APÊNDICE I (p.162), percebe-se ainda que a variação da umidade relativa do ar não passou de 7%, tendo essa variação máxima ocorrido durante o primeiro ciclo de medições. No segundo ciclo de medições a umidade relativa do ar manteve-se praticamente constante. Já no último ciclo ocorreu uma variação de até 6%, valor próximo ao encontrado no primeiro ciclo. Nota-se que uma menor variação na umidade relativa do ar pode influenciar positivamente no próprio conforto térmico da edificação uma vez que não exija do seu ocupante uma adaptação muito brusca ao ambiente.

4.1.5 Resumo dos resultados das medições *in loco*

O QUADRO 15 mostra o resumo dos resultados da avaliação pré-ocupação desenvolvida por meio das medições *in loco*.

Como pode ser observado, apenas o conforto acústico medido com as janelas abertas obteve resultados não satisfatórios. Apesar dos resultados não terem atingido os valores citados em norma esse resultado não é tomado como uma crítica ao método construtivo uma vez que com o ajuste das janelas seja possível corrigir essa situação. Dessa forma, o próprio usuário poderia adequar seu conforto acústico.

As medições foram sido feitas considerando tanto o cenário com janelas abertas, tanto com janelas fechadas, de forma a respeitar a indicação da NBR 10151 (ABNT, 2003). Apesar disso, a NBR 15575-3 (ABNT, 2013c), que apresenta os requisitos e critérios para a verificação do isolamento acústico do sistema de piso entre unidades autônomas, indica que as medições devem ser executadas com portas e janelas fechadas, tais como foram entregues pela empresa construtora ou incorporadora. Sendo assim, mais uma vez ressalta-se a importância das medições com as janelas fechadas, as quais obtiveram resultados satisfatórios.

Sendo assim, no geral, todos os subcritérios atendem as suas respectivas normas quando avaliados por meio de medições *in loco*.

QUADRO 15 – RESUMO DOS RESULTADOS DA AVALIAÇÃO PRÉ-OCUPAÇÃO – MEDIÇÕES *IN LOCO*

RESUMO DO RESULTADO DA AVALIAÇÃO DE CONFORMIDADE COM O NBR 15575-1					
CRITÉRIO	SUBCRITÉRIO	CÔMODOS	CRITÉRIO	ATENDE	
Conforto térmico	Temperatura interna do ambiente	Dormitório 1	Temperatura interna inferior a externa no verão e pelo menos 3°C mais elevada do que a externa no inverno (NBR 15575-1 (ABNT, 2013a)).	Verão	SIM
		Dormitório 2		Inverno	SIM
		Sala		Verão	SIM
	Inverno			SIM	
Conforto acústico	Variação térmica		Não especificado em norma	Verão	SIM
	Nível de ruído interno - janelas fechadas	Dormitório 1			SIM
		Dormitório 2			SIM
	Nível de ruído externo (vizinhos, bairro, rua, etc.) - janelas abertas	Sala			SIM
		Dormitório 1		Inserir os valores medidos em equação e comparar com critérios informados em norma (NBR 10152 (ABNT, 2017b)).	NÃO
Dormitório 2		NÃO			
Conforto visual	Iluminação natural	Sala	NÃO		
		Dormitório 1	Relacionar as medições da iluminação natural nos cômodos internos com valores medidos em ambiente externo (na sombra), de forma a encontrar um FLD de pelo menos 0,50% (NBR 15575-1 (ABNT, 2013a)).	SIM	
		Dormitório 2		SIM	
		Sala		SIM	
		Copa/cozinha		SIM	
Qualidade do ar interno	Circulação do ar (ventilação)	Área de serviço	Avaliação feita por meio de análise do projeto. Para a zona bioclimática 1 (Curitiba) a área das aberturas deve ser superior a 7% da área de piso (NBR 15575-4 (ABNT, 2013d)).	SIM	
		Dormitório 1		SIM	
		Dormitório 2		SIM	
		Sala + Copa/cozinha		SIM	
	Umidade do ar	Dormitório 1	Avaliado por meio da carta bioclimática de Curitiba. A relação umidade relativa e temperatura interna deve indicar uma zona bioclimática de conforto, o que significa que aquele ambiente não precisa ser esfriado ou aquecido.	SIM	
		Dormitório 2		SIM	
		Sala		SIM	

FONTE: A autora (2019).

4.2 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO POR MEIO DE SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

A avaliação pré-ocupação realizada por meio da simulação do desempenho térmico e de iluminação natural, seguiu o protocolo de coleta de dados exposto no QUADRO 7 (p.87). As informações quanto a modelagem BIM, a escolha das ferramentas e procedimento de simulação já foram expostas. Sendo assim, os resultados das simulações de desempenho, divididos de acordo com o tipo de desempenho, são apresentados a seguir.

4.2.1 Avaliação do desempenho térmico – simulação

Depois de terem sido completados os processos de modelagem, interoperabilidade das ferramentas e simulação, foi gerado um arquivo com os dados térmicos simulados referentes ao ano de 2018. A norma indica que sejam simulados todos os recintos da unidade habitacional, considerando as trocas térmicas entre os seus ambientes, mas que sejam avaliados os resultados dos recintos dormitórios e salas.

Ainda seguindo a norma NBR 15575-1 (ABNT, 2013a), devem ser avaliadas as condições do desempenho térmico no verão e no inverno. Para isso, dentro do ano simulado, foram selecionados dois dias: um dia típico de verão e um dia típico de inverno. A seleção dos dias levou em consideração o Anexo A da norma, que dispõe informações que caracterizam um dia típico de verão e de inverno para as capitais brasileiras. Como o empreendimento está localizado na região metropolitana de Curitiba foram utilizadas as informações sobre essa cidade:

- Dia típico de verão: temperatura máxima diária de 31,4°C, amplitude diária de 10,2°C e temperatura de bulbo úmido de 21,3°C;
- Dia típico de inverno: temperatura mínima diária de 0,7°C, amplitude diária de 11,6°C e temperatura de bulbo úmido de 11,0°C (NBR 15575-1 (ABNT, 2013a)).

Como mostram os resultados expostos no QUADRO 16, as temperaturas do dia típico de verão não atenderam a norma NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) uma vez que as temperaturas internas tenham sido maiores do que as temperaturas externas. Porém, a simulação térmica desenvolvida considerou que as aberturas (portas e

janelas) estivessem sempre fechadas, uma vez que durante a fase de pré-ocupação não existam moradores e então um padrão de abertura de portas e janelas. Já no caso das medições *in loco*, apesar de também terem sido mantidas as portas e janelas fechadas durante os ciclos de medições, foram permitidas trocas térmicas nas entradas e saídas dos pesquisadores e também quando foram abertas as janelas para a realização da avaliação do desempenho acústico com as janelas abertas. Dessa forma, pode se justificar a diferença entre a temperatura interna e a temperatura externa encontrada na simulação.

As inconsistências quanto a esse primeiro cenário simulado puderam ser observadas já na busca pelos dias típicos de verão e de inverno. Tanto no verão quanto no inverno, devido à falta de trocas térmicas, a maior parte dos dias superavam consideravelmente as temperaturas representativas.

QUADRO 16 – RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES DO CRITÉRIO CONFORTO TÉRMICO – JANELAS FECHADAS

DORMITÓRIO 1							
VERÃO				INVERNO			
Dia	Temperatura interna máxima	Temperatura externa máxima	Atende	Dia	Temperatura interna mínima	Temperatura externa mínima	Atende
05/01/2018	35,13	30,38	NÃO	10/07/2018	11,31	0,00	SIM
DORMITÓRIO 2							
VERÃO				INVERNO			
Dia	Temperatura interna máxima	Temperatura externa máxima	Atende	Dia	Temperatura interna mínima	Temperatura externa mínima	Atende
05/01/2018	34,34	30,38	NÃO	10/07/2018	12,65	0,00	SIM
SALA							
VERÃO				INVERNO			
Dia	Temperatura interna máxima	Temperatura externa máxima	Atende	Dia	Temperatura interna mínima	Temperatura externa mínima	Atende
05/01/2018	35,82	30,38	NÃO	10/07/2018	12,34	0,00	SIM

FONTE: A autora (2019).

Diante dessa situação foi desenvolvida uma nova simulação considerando agora um padrão de abertura das janelas. Para isso, foi utilizada a etiquetagem do PBE Edifica (INMETRO, 2012) para edificações residenciais, documento também utilizado por Araujo (2018). Utilizou-se então o padrão de ocupação, tanto para dias de semana como para os finais de semana, para entender os horários que os ocupantes estão em cada cômodo, como mostra o QUADRO 17.

QUADRO 17 – PADRÃO DE OCUPAÇÃO DOS COMÔDOS SEGUNDO O RTQ-R Residencial

Hora	Dormitórios		Sala	
	Dias de semana (%)	Final de semana (%)	Dias de semana (%)	Final de semana (%)
1h	100	100	0	0
2h	100	100	0	0
3h	100	100	0	0
4h	100	100	0	0
5h	100	100	0	0
6h	100	100	0	0
7h	100	100	0	0
8h	0	100	0	0
9h	0	100	0	0
10h	0	50	0	0
11h	0	0	0	25
12h	0	0	0	75
13h	0	0	0	0
14h	0	0	25	75
15h	0	0	25	50
16h	0	0	25	50
17h	0	0	25	50
18h	0	0	25	25
19h	0	0	100	25
20h	0	0	50	50
21h	50	50	50	50
22h	100	100	0	0
23h	100	100	0	0
24h	100	100	0	0

FONTE: INMETRO (2012).

Para a condução das simulações foi considerado que as janelas dos cômodos estariam abertas quando a taxa de ocupação fosse maior do que zero, otimizando assim a ventilação e então as trocas térmicas. Dentro da aba “Cronograma” (*Schedules*) do OpenStudio é possível configurar o padrão das aberturas das janelas por período e dia de semana. Assim, seguindo as informações do QUADRO 17, foram criados dois cronogramas diferentes, um considerando o padrão de abertura dos dormitórios e outro da sala. Cada cronograma foi ainda subdividido em dias da semana e final de semana para o ano simulado. A elaboração dos dois cronogramas permite que a ferramenta considere os dois padrões de aberturas simultaneamente.

Essa diferenciação foi possível duplicando o uso do item “*Add Wind and Stack Open Area*” na aba de Medidas (*Measures*) do OpenStudio. Para cada um dos itens foi selecionado um tipo de vidro, informações estas puxadas do Revit, o que foi possível uma vez que a janela da sala e dos dormitórios são de tipos diferentes, sendo a primeira tripla e as demais duplas. Ademais, no caso dos dormitórios foi considerado

uma abertura de meia janela, por se tratar de uma janela de duas folhas de correr. Já no caso da sala, por se tratar de uma janela de três folhas de correr foi considerada uma abertura de dois terços dessa.

Com os ajustes feitos, os resultados da simulação atenderam os critérios da norma NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) tanto no verão quanto no inverno, como pode ser visto no QUADRO 18. Ressalta-se que a seleção do dia 05/01/2018 como dia representativo de verão e 10/07/2018 como dia representativo de inverno seguiu as informações da NBR 15575-1 (ABNT, 2013a), já citadas anteriormente.

QUADRO 18 – RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES DO CRITÉRIO CONFORTO TÉRMICO

DORMITÓRIO 1							
VERÃO				INVERNO			
Dia	Temperatura interna máxima	Temperatura externa máxima	Atende	Dia	Temperatura interna mínima	Temperatura externa mínima	Atende
05/01/2018	27,21	30,38	SIM	10/07/2018	12,31	0,00	SIM
DORMITÓRIO 2							
VERÃO				INVERNO			
Dia	Temperatura interna máxima	Temperatura externa máxima	Atende	Dia	Temperatura interna mínima	Temperatura externa mínima	Atende
05/01/2018	27,71	30,38	SIM	10/07/2018	10,14	0,00	SIM
SALA							
VERÃO				INVERNO			
Dia	Temperatura interna máxima	Temperatura externa máxima	Atende	Dia	Temperatura interna mínima	Temperatura externa mínima	Atende
05/01/2018	30,06	30,38	SIM	10/07/2018	8,47	0,00	SIM

FONTE: A autora (2019).

Apenas a título de comparação, no APÊNDICE L (p. 165) são dispostos os resultados da simulação de desempenho térmico dos dormitórios e sala para o dia 29/09/2018, mesmo dia da avaliação *in loco*. Foi utilizada a opção *timestep*, que dispõe os resultados da simulação de 10 em 10 minutos, como foi feito para as medições *in loco*.

Os resultados mostram que as temperaturas simuladas são mais altas do que as medidas *in loco*. Para a simulação em questão foram consideradas as janelas sempre fechadas. Já no caso das medições *in loco*, apesar das janelas terem sido mantidas fechadas durante os ciclos de medições, as janelas foram abertas para as medições de desempenho acústico com as janelas abertas e as portas foram abertas diversas vezes para a entrada e saída de pesquisadores. Dessa forma, as medições *in loco* permitiram que trocas térmicas fossem realizadas, o que pode justificar a

diferença encontrada. Nesse caso, o resultado da simulação com as aberturas sempre fechadas não resultou em valores tão altos uma vez que o dia simulado fosse um dia de início de primavera.

Por fim, quanto as simulações desenvolvidas, deve-se ainda ser levado em consideração que o arquivo climático utilizado corresponde a cidade de Curitiba e o empreendimento está localizado na cidade de Araucária. Apesar da cidade de Araucária estar situada na região metropolitana de Curitiba, o uso do arquivo climático da capital pode ter contribuído para a diferença entre o resultado medido e simulado.

4.2.2 Avaliação da iluminação natural – simulação

A avaliação do desempenho lumínico pelo método da simulação é prevista na NBR 15575-1 (ABNT, 2013a), não sendo citada no SINAT nº 005 (BRASIL, 2017b) e no DATec nº020C (BRASIL, 2017a). Dentro do item de desempenho lumínico da NBR 15575-1 (ABNT, 2013a), no requisito da iluminação natural é previsto que essa atenda critérios tanto na avaliação por medição *in loco*, já desenvolvida, quanto por simulação.

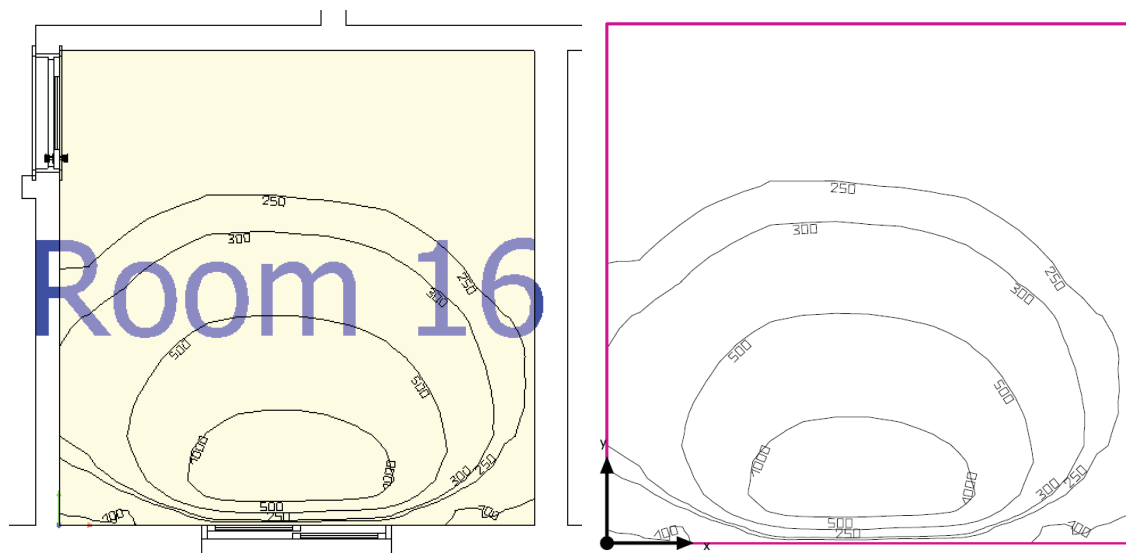
Como descrito na seção de método, os cômodos que devem ser avaliados são a sala de estar, os dormitórios, a cozinha/copa e a área de serviço. Tais cômodos devem alcançar um nível de iluminância geral para iluminação natural maior ou superior a 60 lux, sendo esse o valor para o nível mínimo de desempenho disposto na norma.

A ferramenta utilizada para a simulação em pauta foi o DIALux evo. Na FIGURA 24 pode ser observado como os resultados gráficos são expostos na ferramenta. Além disso também é possível exportar um documento com todos os resultados por cômodo e com sua respectiva representação gráfica. Apesar de mais limpa, a figura do documento exportado não mostra o posicionamento das janelas. Nota-se que a identificação dos ambientes criada no Revit não foi mantida no DIALux evo, sendo que esse último renomeou os cômodos. Depois de configurada e processada a simulação, o DIALux evo dispõe os valores da iluminação mínima, média e máxima para o cômodo simulado.

Segundo a NBR 15575-1 (ABNT, 2013a), a simulação deve ser feita para o ponto central do cômodo em questão. Porém, como pode ser observado na FIGURA 24, o DIALux evo faz uma simulação para o ambiente completo, considerando uma altura de simulação que pode ser ajustada. Os resultados gerados pelo DIALux evo

informam qual o valor máximo, mínimo e média da iluminância do cômodo naquele dia/hora em lux.

FIGURA 24 – RESULTADOS GRÁFICOS DA FERRAMENTA DIALux evo PARA O DORMITÓRIO 1 - 10 HORAS DO DIA 29/09/2019



FONTE: A autora (2019).

A combinação dos resultados gráficos e numéricos (tabela) gerados pelo DIALux evo permitiram verificar o critério da iluminação natural dos cômodos da unidade de análise da pesquisa. Relativo ao horário das medições, o DIALux evo permite apenas que sejam selecionados horas cheias para a simulação, como 8hrs, dessa forma, não puderam ser feitas simulações de 10 em 10 minutos, como as medições *in loco*, e sim de uma em uma hora.

Depois de ajustar todos os parâmetros foi feita a simulação. A primeira rodada de simulações feitas foram as do dia 29 de setembro de 2018, a fim de comparar os resultados simulados com os resultados medidos *in loco*. No caso das simulações desse dia, foi escolhido realizar simulações em todas as horas cheias dentro do período estipulado pela norma para as simulações (entre 09:30 e 15:30) a fim de ter mais resultados para comparação. Os resultados dessa simulação estão dispostos QUADRO 19.

Como a norma indica que as simulações devem ser realizadas considerando os dias 23 de abril e 23 de outubro, também foram feitas simulações de iluminação térmica para essas datas. Desta vez foram considerados três horários, dentro do período estabelecido por norma. Os resultados estão dispostos no QUADRO 20.

QUADRO 19 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DE ILUMINAÇÃO NATURAL 29/09/2018

Cômodo:	Data:	Horário:		Valor (lux):	ATENDE:
SALA/ COZINHA/ ÁREA DE SERVIÇO	29/09/2018	10:00	Média	749	SIM
			Mínima	78,3	SIM
			Máxima	7322	SIM
		11:00	Média	813	SIM
			Mínima	83,5	SIM
			Máxima	8689	SIM
		12:00	Média	1528	SIM
			Mínima	116	SIM
			Máxima	37665	SIM
		13:00	Média	2767	SIM
			Mínima	159	SIM
			Máxima	38621	SIM
		14:00	Média	3787	SIM
			Mínima	225	SIM
			Máxima	36157	SIM
		15:00	Média	4035	SIM
			Mínima	239	SIM
			Máxima	28950	SIM
DORMITÓRIO 1	29/09/2018	10:00	Média	394	SIM
			Mínima	78	SIM
			Máxima	1486	SIM
		11:00	Média	368	SIM
			Mínima	66,6	SIM
			Máxima	1522	SIM
		12:00	Média	388	SIM
			Mínima	59,1	NÃO
			Máxima	1786	SIM
		13:00	Média	540	SIM
			Mínima	79	SIM
			Máxima	2475	SIM
		14:00	Média	807	SIM
			Mínima	112	SIM
			Máxima	3442	SIM
		15:00	Média	1390	SIM
			Mínima	163	SIM
			Máxima	19752	SIM
DORMITÓRIO 2	29/09/2018	10:00	Média	727	SIM
			Mínima	111	SIM
			Máxima	2590	SIM
		11:00	Média	795	SIM
			Mínima	85,2	SIM
			Máxima	3240	SIM
		12:00	Média	1417	SIM
			Mínima	143	SIM
			Máxima	30271	SIM
		13:00	Média	2838	SIM
			Mínima	229	SIM
			Máxima	31532	SIM
		14:00	Média	3965	SIM
			Mínima	314	SIM
			Máxima	28524	SIM
		15:00	Média	4198	SIM
			Mínima	320	SIM
			Máxima	21944	SIM

FONTE: A autora (2019).

QUADRO 20 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DE ILUMINAÇÃO NATURAL 23/04/2018 e 23/10/2018

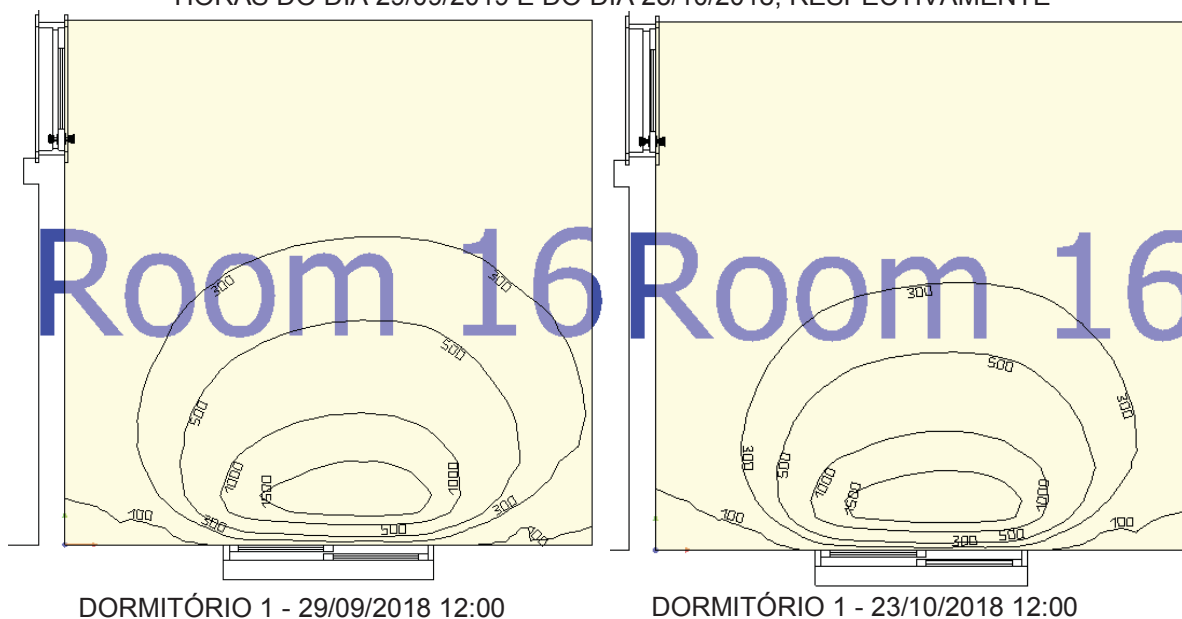
Cômodo:	Data:	Horário:		Valor (lux):	ATENDE:
SALA/ COZINHA/ ÁREA DE SERVIÇO	23/04/2018	10:00	Média	808	SIM
			Mínima	89,6	SIM
			Máxima	7238	SIM
		12:00	Média	2336	SIM
			Mínima	176	SIM
			Máxima	34548	SIM
		15:00	Média	4040	SIM
			Mínima	273	SIM
			Máxima	22546	SIM
	23/10/2018	10:00	Média	631	SIM
			Mínima	71,8	SIM
			Máxima	6479	SIM
		12:00	Média	794	SIM
			Mínima	78,4	SIM
			Máxima	27239	SIM
		15:00	Média	3582	SIM
			Mínima	233	SIM
			Máxima	31099	SIM
DORMITÓRIO 1	23/04/2018	10:00	Média	349	SIM
			Mínima	74,2	SIM
			Máxima	1223	SIM
		12:00	Média	444	SIM
			Mínima	76,3	SIM
			Máxima	1752	SIM
		15:00	Média	666	SIM
			Mínima	102	SIM
			Máxima	2408	SIM
	23/10/2018	10:00	Média	400	SIM
			Mínima	76	SIM
			Máxima	1619	SIM
		12:00	Média	338	SIM
			Mínima	49,2	NÃO
			Máxima	1861	SIM
		15:00	Média	2052	SIM
			Mínima	203	SIM
			Máxima	23046	SIM
DORMITÓRIO 2	23/04/2018	10:00	Média	777	SIM
			Mínima	121	SIM
			Máxima	2538	SIM
		12:00	Média	2401	SIM
			Mínima	225	SIM
			Máxima	26263	SIM
		15:00	Média	4434	SIM
			Mínima	323	SIM
			Máxima	16750	SIM
	23/10/2018	10:00	Média	615	SIM
			Mínima	91,7	SIM
			Máxima	2294	SIM
		12:00	Média	659	SIM
			Mínima	87,1	SIM
			Máxima	3519	SIM
		15:00	Média	3622	SIM
			Mínima	281	SIM
			Máxima	23906	SIM

FONTE: A autora (2019).

Como pode ser observado nos QUADROS 19 e 20, considerando toda a superfície dos cômodos avaliados, apenas dois valores de iluminação natural foram menores do que 60 lux, valor estipulado por norma para atingir o desempenho mínimo necessário. Esses ocorreram nos dias 29/09/2018 (dia da medição *in loco*) e 23/10/2018, ambos no Dormitório 1 as 12:00, e estão destacados nos quadros.

Por meio da visualização gráfica das respectivas simulações (FIGURA 25), pode ser observado que os únicos locais do cômodo onde a iluminação foi inferior a 100 lux foram nos cantos na parede que comporta a janela. Sendo assim, como prescrito na NBR 15575-1 (ABNT, 2013a), o critério de no mínimo 60 lux no centro dos cômodos avaliados, a uma altura de 0,75 m, foi alcançado em todas as simulações.

FIGURA 25 – RESULTADOS GRÁFICOS DA FERRAMENTA DIALux evo PARA O QUARTO 1 - 12 HORAS DO DIA 29/09/2019 E DO DIA 23/10/2018, RESPECTIVAMENTE



FONTE: A autora (2019).

A título de comparação com os resultados das medições *in loco*, observando a Figura 24, observa-se que as 10 horas do dia 29/09/2018, o valor da iluminação natural no centro do cômodo Dormitório 1 era de aproximadamente 400 lux, valor que cumpre o requisito da simulação mas que é bem inferior ao valor medido *in loco* (3453 lux).

4.2.3 Resumo dos resultados das simulações de desempenho

Quanto a avaliação pré-ocupação desenvolvida por meio de simulações computacionais, as ferramentas utilizadas mostraram-se capazes de cumprir com os requisitos necessários entregando os resultados necessários a pesquisa. O processo de modelagem também foi satisfatório uma vez que possibilitou que as simulações fossem completadas e resultassem em valores compatíveis com os esperados.

Os resultados encontrados em ambas as simulações, sendo elas a de desempenho térmico e de iluminação natural, cumpriram os requisitos mínimos estipulados em norma. Sendo assim, considerando a avaliação pré-ocupação por meio das simulações computacionais do desempenho, a unidade de análise atende os requisitos mínimos de desempenho estipulados na NBR15575-1 (ABNT, 2013a), que é a parte da norma que discute sobre esses tipos de desempenho.

Sobre a simulação de desempenho térmico, nota-se que os resultados encontrados considerando o verão atenderam a norma mas ficaram próximos do valor limite. Ressalta-se que segundo a orientação da unidade de análise esta é classificada como crítica para o verão, conforme as informações dispostas na NBR 15575-1 (ABNT, 2013a). Assim, mesmo em situação crítica para o desempenho térmico no verão a edificação atendeu a norma em foco.

Já no caso do inverno, a unidade de análise não representa a situação crítica. Apesar disso, existe uma folga significativa entre os resultados encontrados para essa estação e o valor limite disposto na norma de desempenho.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após terem sido completadas as etapas de avaliação pré-ocupação desenvolvida por meio de medições *in loco*, a ETAPA 4 apresentada no método, e a avaliação pré-ocupação desenvolvida por meio de simulações de desempenho, a ETAPA 5 apresentada no método, foram então comparados os resultados a fim de entender o real comportamento da edificação e refletir sobre os métodos de avaliação utilizados. O QUADRO 21 (p.124) mostra um resumo dos resultados encontrados.

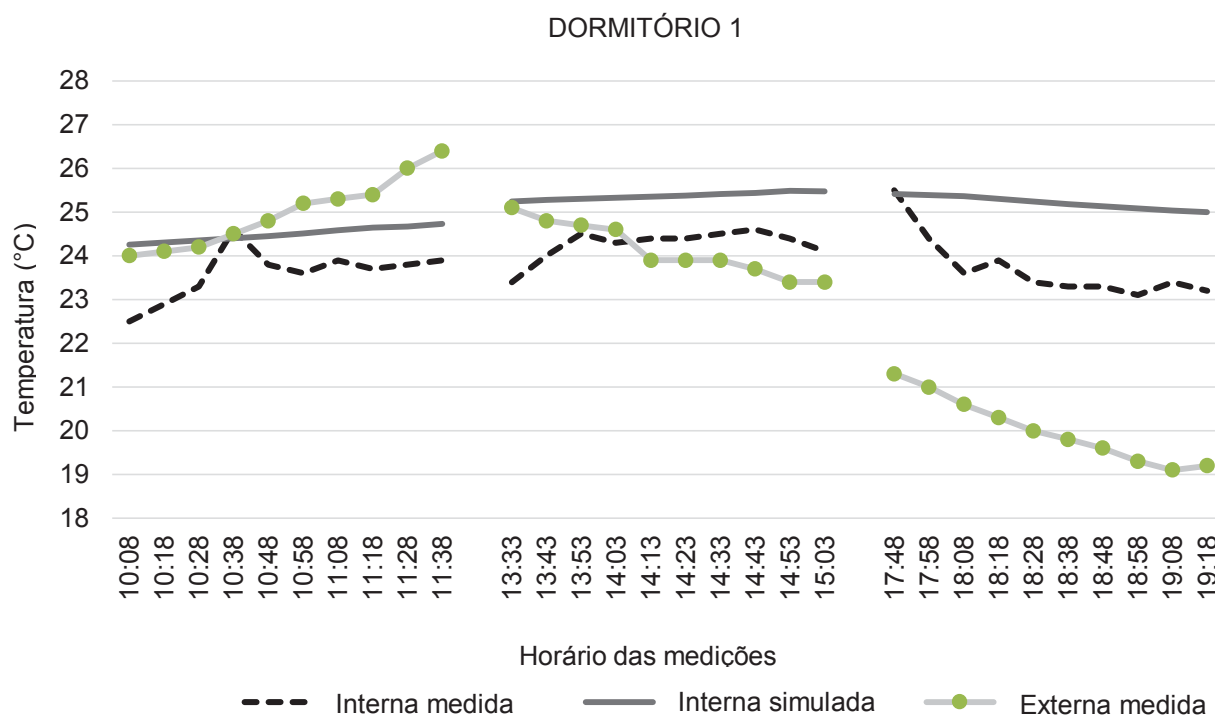
Quanto aos resultados do desempenho térmico, tanto as medições *in loco* da temperatura interna, quanto a simulação indicaram que a edificação atende os requisitos mínimos de desempenho da temperatura interna propostos na NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) e reafirmados no SINAT N° 005 (BRASIL, 2017b) e no DATec N° 020-C (BRASIL, 2017a)).

Apesar de não ser previsto nesses documentos, a variação térmica também foi estudada na avaliação por meio das medições em campo. Nesse caso, foram elaborados gráficos da variação térmica comparando os dados das medições *in loco* dentro dos cômodos e em ambiente externo (GRÁFICOS 3, 4 e 5, págs. 98 e 99). Já no caso da avaliação da variação térmica por meio da simulação, não foram elaborados gráficos desse tipo uma vez que para ambientes externos a ferramenta não simule dados de temperatura, reproduzindo apenas os dados do arquivo climático inserido.

A fim de completar essa lacuna, os GRÁFICOS 6, 7 e 8 comparam os dados da temperatura medida interna e externamente com os dados simulados para as temperaturas internas. Como pode ser observado, considerando o dia 29/09/2018, que é o dia das medições *in loco*, nos três cômodos avaliados as temperaturas simuladas foram intermediárias as temperaturas internas e externas medidas no mesmo dia no primeiro ciclo de medições. Já no caso do segundo e terceiro ciclos e medição, as temperaturas simuladas foram as mais altas.

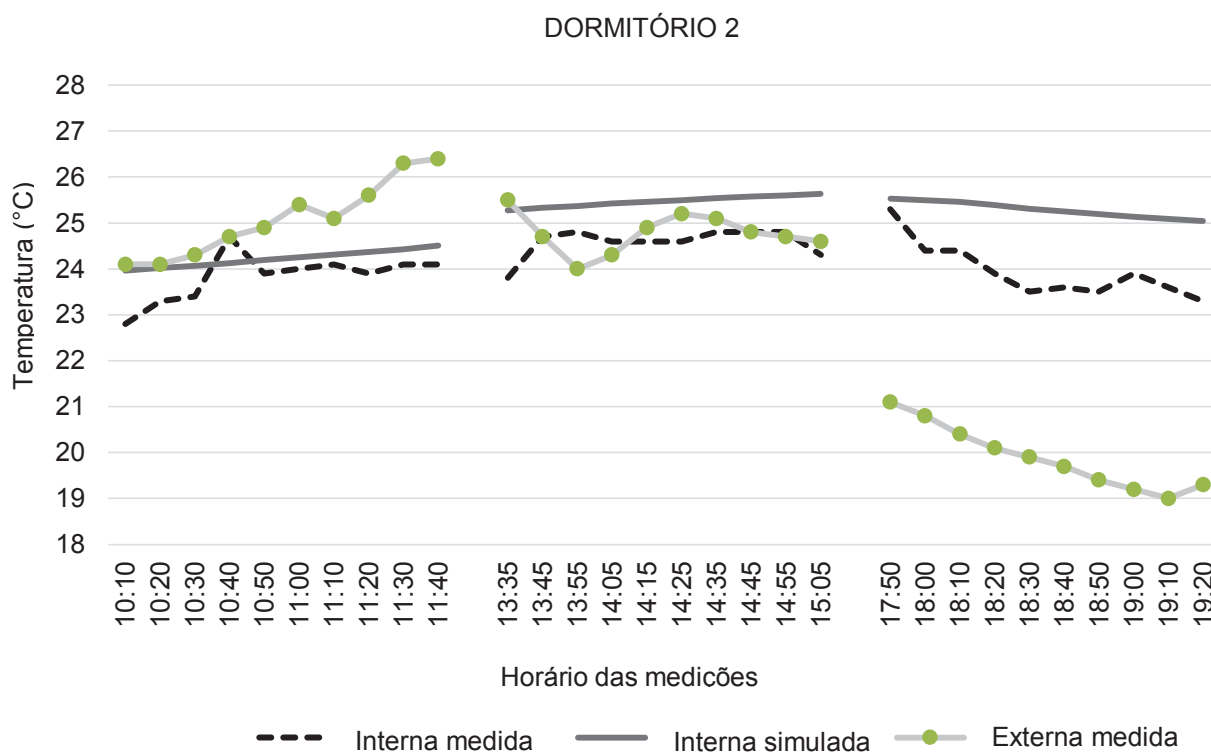
Pode-se perceber que as temperaturas internas medidas em campo continuam sendo as mais centrais do gráfico, apesar do pico no início do terceiro ciclo. Já as temperaturas simuladas foram, no geral, as mais elevadas, além de não terem sofrido muitas variações. Essa informação confirma a “falta” de trocas térmicas na simulação elaborada uma vez que nessa não tenham sido considerados um padrão de aberturas das janelas.

GRÁFICO 6 – VARIAÇÃO TÉRMICA INTERNA E EXTERNA MEDIDA E SIMULADA -
DORMITÓRIO 1



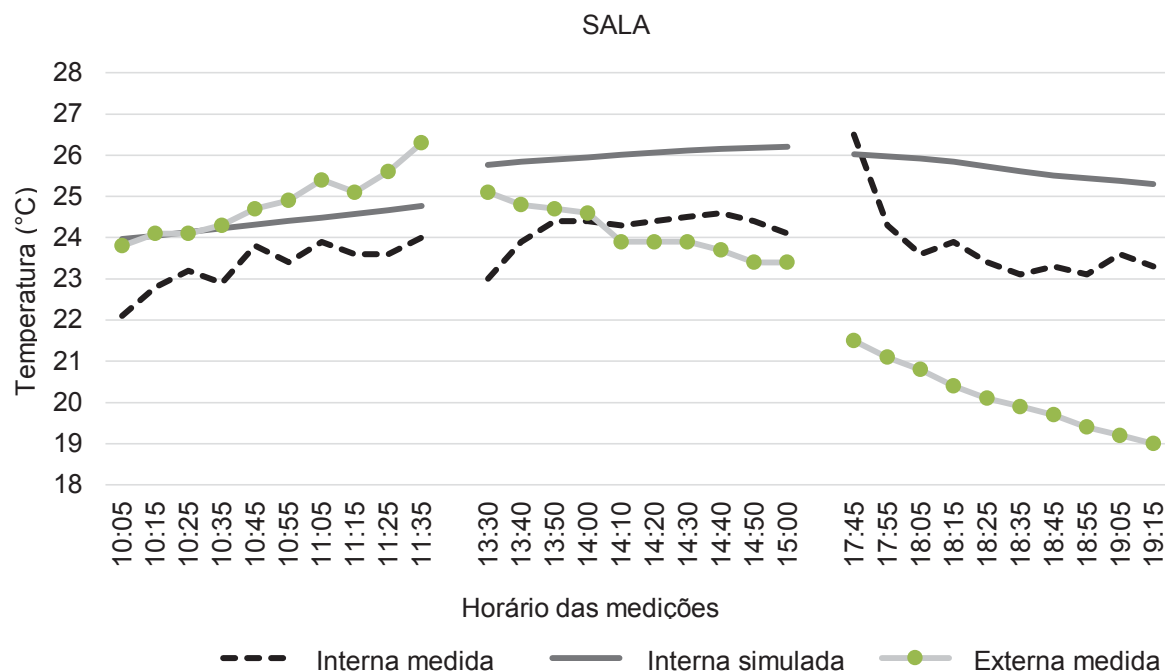
FONTE: A autora (2019).

GRÁFICO 7 – VARIAÇÃO TÉRMICA INTERNA E EXTERNA MEDIDA E SIMULADA -
DORMITÓRIO 2



FONTE: A autora (2019).

GRÁFICO 8 – VARIAÇÃO TÉRMICA INTERNA E EXTERNA MEDIDA E SIMULADA – SALA



FONTE: A autora (2019).

Os resultados do conforto acústico indicaram que o nível de ruído interno com as janelas fechadas é menor do que o valor limite estipulado em norma. Ou seja, o nível de ruído interno atende os requisitos da norma. Também foi testada a situação com as janelas abertas de forma a verificar os impactos dos ruídos externos sobre a edificação. Nesse caso, os valores medidos excederam os valores estipulados em norma. Apesar disso, comparando os valores encontrados nas medições feitas com as janelas abertas e em ambiente externo a edificação verificou-se a capacidade da edificação em absorver os ruídos. Ademais, de acordo com a NBR 10151 (ABNT, 2003), deve ser avaliado o conforto acústico com as janelas posicionadas de acordo com o seu uso, sendo assim entende-se que a edificação cumpre os requisitos de desempenho acústico uma vez que o ocupante possa adequar o nível de ruído com o fechamento das janelas.

Porém, dessa consideração surge uma incompatibilidade, uma vez que a mesma abertura de janelas que possibilita ao usuário adequar seu conforto acústico pode afetar seu conforto térmico. Isso pois, na simulação térmica em que não foi considerada a abertura das janelas no verão foi demonstrado como o padrão de abertura das janelas pode afetar o conforto térmico da edificação. Dessa forma, a busca pelo conforto térmico, principalmente no verão, poderia resultar em um

desconforto acústico, e vice-versa.

O conforto visual, critério referente a iluminação visual, foi avaliado tanto pelas medições *in loco* quanto por simulação computacional, assim como a temperatura interna do ambiente. Tanto as medições em campo quanto as simulações são previstas na avaliação do desempenho da iluminação natural na NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) porém por meio de critérios diferentes. A medição em campo deve atender o FLD, já a simulação deve atender os níveis de iluminância geral para a iluminação natural. Ambos os critérios foram avaliados. Os resultados indicaram que, assim como no caso do conforto térmico, os resultados da avaliação em campo e da simulação foram ambos satisfatórios.

Como a NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) prevê dois critérios para o desempenho da iluminação natural, ambos devem atingir os valores mínimos estipulados em norma. Sendo assim, o critério conforto visual atendeu os requisitos previstos em norma. Os demais documentos tomados como base na presente dissertação, relativos ao método construtivo LWF, sendo eles o SINAT N° 005 (BRASIL, 2017b), DATec N° 020-C (BRASIL, 2017a)) não desenvolveram avaliações da iluminação natural.

Por fim, o último critério é dividido em dois subcritérios sendo o primeiro a circulação do ar (ventilação), que foi verificada por análise de projeto, como prescrito na NBR 15575-4 (ABNT, 2013d), e alcançou os valores mínimos estipulados. A avaliação do subcritério de umidade do ar não é prevista na NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) dessa forma foi buscada uma outra forma de avaliação. Assim, verificou-se a umidade relativa do ar por meio da carta bioclimática de Curitiba, desenvolvida com auxílio da ferramenta Analysis Bio, do LabEEE.

Como resultado, relacionando as umidades e as temperaturas medidas, a carta bioclimática indicou que a edificação estava na zona bioclimática de conforto no dia das medições em campo. Apesar do resultado da umidade relativa da edificação, esse tendo sido tomado como satisfatório, não foi verificada a umidade relativa no verão ou inverno, que representam as condições extremas em que a edificação está exposta.

QUADRO 21 – QUADRO RESUMO DOS RESULTADOS DA PESQUISA

CRITÉRIO	SUBCRITÉRIO	MEDIÇÃO IN LOCO				SIMULAÇÃO			
		CÔMODOS	ATENDE		CÔMODOS	ATENDE			
Conforto térmico	Temperatura interna do ambiente	Dormitório 1	Verão	SIM	Dormitório 1	Verão	SIM		
			Inverno	SIM		Inverno	SIM		
		Dormitório 2	Verão	SIM	Dormitório 2	Verão	SIM		
			Inverno	SIM		Inverno	SIM		
	Variação térmica	Sala	Verão	SIM	Sala	Verão	SIM		
Inverno			SIM	Inverno		SIM			
Conforto acústico	Variação térmica	Não especificado em norma							
		Dormitório 1	SIM		Dormitório 1	Não especificado em norma			
		Dormitório 2	SIM						
	Sala	SIM							
	Dormitório 1	NÃO							
	Dormitório 2	NÃO							
	Sala	NÃO							
Conforto visual	Iluminação natural	Dormitório 1	SIM		Dormitório 1	23/abr	SIM		
		Dormitório 2	SIM			23/out	SIM		
			SIM			29/set (dia das medições)	SIM		
		Sala + Copa/cozinha + Área de serviço	SIM		Dormitório 2	23/abr	SIM		
			SIM			23/out	SIM		
Qualidade do ar interno	Circulação do ar (ventilação)	Sala + Copa/cozinha + Área de serviço	SIM		Sala + Copa/cozinha + Área de serviço	29/set (dia das medições)	SIM		
			SIM			23/abr	SIM		
		Dormitório 1	SIM		Dormitório 2	23/out	SIM		
		Dormitório 2	SIM			29/set (dia das medições)	SIM		
		Umidade do ar	Dormitório 1	SIM*		Sala + Copa/cozinha + Área de serviço	23/abr	SIM	
	Dormitório 2		SIM*		23/out		SIM		
	Sala		SIM*		29/set (dia das medições)	SIM			
* A norma NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) não apresenta critérios sobre a umidade do ar. Apesar disso, seguindo a carta bioclimática chega-se a um resultado que indica que, no dia avaliado, os cômodos avaliados estão na zona									

FONTE: A autora (2019).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente dissertação partiu da percepção da importância de conduzir avaliações de desempenho em edificações, em específico nas construídas em *light wood frame*, sistema de construção inovador e que faz parte do PMCMV, impactando a vida de milhares de brasileiros.

A pesquisa foi desenvolvida por meio de um estudo de caso com objetivo geral de avaliar o desempenho de uma edificação de interesse social do PMCMV em LWF na fase de pré-ocupação a fim de verificar se o desempenho térmico, acústico, lumínico e da qualidade do ar avaliado está de acordo com o estabelecido nas normas e diretrizes convenientes (NBR 15575 (ABNT, 2013a, 2013b, 2013c, 2013d, 2013e, 2013f), SINAT N° 005 (BRASIL, 2017b), DATec N° 020-C (BRASIL, 2017a)).

Os critérios avaliados pertencem a dimensão 2, proposta no estudo de Sotsek et al. (2019), referente ao conforto térmico (temperatura interna e amplitude térmica), conforto acústico (ruído interno e externo), iluminação natural, e qualidade do ar (ventilação e umidade).

A etapa inicial foi o aprofundamento e a conscientização do problema de pesquisa “As edificações de interesse social do PMCMV construídas em *light wood frame* atendem o desempenho térmico, acústico, lumínico e da qualidade do ar indicado pela NBR 15575 (ABNT, 2013a, 2013b, 2013c, 2013d, 2013e, 2013f), SINAT N° 005 (BRASIL, 2017b) e DATec N° 020-C (BRASIL, 2017a) na fase de pré-ocupação?” por meio de uma revisão bibliográfica. Foram abordados diversos temas como o LWF, as normas e diretrizes convenientes para o assunto em questão, avaliação de desempenho da edificação e as variáveis intrínsecas ao seu desenvolvimento.

Dessa forma, foi possível identificar quais métodos de avaliação de desempenho poderiam ser adotados, além dos métodos indicados pela NBR 15575 (ABNT, 2013a, 2013b, 2013c, 2013d, 2013e, 2013f), SINAT N° 005 (BRASIL, 2017b), DATec N° 020-C (BRASIL, 2017a). Essa etapa foi fundamental para o desenvolvimento método da pesquisa, possibilitando também a elaboração dos protocolos de coleta de dados e então a condução das avaliações pré-ocupação em campo e por meio de simulação.

Assim, foi verificado o desempenho da edificação quanto ao desempenho térmico, acústico, lumínico e da qualidade do ar avaliando se esses estão de acordo

com o estabelecido nas normas e diretrizes convenientes (NBR 15575 (ABNT, 2013a, 2013b, 2013c, 2013d, 2013e, 2013f), SINAT N° 005 (BRASIL, 2017b), DATec N° 020-C (BRASIL, 2017a)), cumprindo o objetivo geral e específicos da pesquisa.

A NBR 15575 (ABNT, 2013a, 2013b, 2013c, 2013d, 2013e, 2013f), o SINAT N° 005 (BRASIL, 2017b), e o DATec N° 020-C (BRASIL, 2017a), regeram o objetivo central da pesquisa. Contudo, a NBR 15575 (ABNT, 2013a, 2013b, 2013c, 2013d, 2013e, 2013f) foi o principal documento, ou coletânea de documentos, utilizado uma vez que o SINAT N° 005 (BRASIL, 2017b), e o DATec N° 020-C (BRASIL, 2017a) reafirmem as suas informações.

6.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os principais temas tratados na revisão bibliográfica resultaram em diferentes contribuições para a abordagem do problema. O estudo da industrialização da construção civil possibilitou a compreensão da importância da discussão sobre sistemas de construção industrializados, como o LWF. O estudo do LWF propriamente dito, auxiliou na aprendizado e aprofundamento de conceitos essenciais ao desenvolvimento do trabalho, como a composição de paredes. A revisão das habitações de interesse social mostrou a importância do trabalho no âmbito social do país, do PMCMV, assim como as edificações LWF no contexto do programa. O histórico da qualidade nas edificações traçou, historicamente, a origem e os avanços dessa temática, que levaram a elaboração de normas e diretrizes específicas para o método construtivo LWF, tendo essas guiado o objetivo central da pesquisa juntamente com a norma de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013a, 2013b, 2013c, 2013d, 2013e, 2013f). Então, foi abordada a avaliação de desempenho da edificação, o que possibilitou a compreensão de todas as variáveis intrínsecas ao seu desenvolvimento. Em seguida, foi identificado um método de avaliação de edificações em LWF, o que permitiu o embasamento da escolha de quais características da edificação deveriam ser avaliadas. Na sequência, foi feita uma revisão sobre as características da edificação referentes ao objetivo da pesquisa, o que proporcionou importantes fundamentos à elaboração da pesquisa. Por fim, foi discutido sobre o BIM e as simulações, um dos métodos de avaliação do desempenho previsto na NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) que fez parte da pesquisa, possibilitando seu entendimento e posterior elaboração.

6.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS CRITÉRIOS AVALIADOS, O MÉTODO DE SOTSEK ET AL. (2019) E A NBR 15575

Quanto aos critérios avaliados, foram buscadas as principais características da edificação que deveriam ser estudadas em uma avaliação de desempenho de uma edificação construída em LWF levando em consideração a NBR 15575 (ABNT, 2013a, 2013b, 2013c, 2013d, 2013e, 2013f), SINAT N° 005 (BRASIL, 2017b), DATec N° 020-C (BRASIL, 2017a) e também a unidade de análise estabelecida. Nesse contexto foi identificada a pesquisa de Sotsek et al. (2019) que triou entre os critérios presentes em diversas normas nacionais e internacionais, além de outros documentos, quais devem ser estudados em uma BPE de uma edificação em LWF.

Os critérios selecionados foram considerados adequados uma vez que a pesquisa de Sotsek et al. (2019) utiliza a NBR 15575 (ABNT, 2013a, 2013b, 2013c, 2013d, 2013e, 2013f), SINAT N° 005 (BRASIL, 2017b), DATec N° 020-C (BRASIL, 2017a) em seu escopo de desenvolvimento. Entretanto, a associação entre a proposta de Sotsek et al. (2019) e os requisitos presentes, principalmente, na NBR 15575 (ABNT, 2013a, 2013b, 2013c, 2013d, 2013e, 2013f), mostraram não ser sempre compatíveis.

Em Sotsek et al. (2019) é apresentado um método para avaliação de edificações LWF, expondo os itens que devem ser avaliados, divididos em dimensões, critérios e subcritérios, e suas respectivas importâncias. Contudo, não são apontados requisitos de desempenho a fim de avaliar se o desempenho de cada um desses subcritérios é atendido. Assim é preciso utilizar outras ferramentas, como a própria NBR 15575 (ABNT, 2013a, 2013b, 2013c, 2013d, 2013e, 2013f) para verificar o desempenho da edificação.

Surge assim uma incompatibilidade entre Sotsek et al. (2019) e a NBR 15575 (ABNT, 2013a, 2013b, 2013c, 2013d, 2013e, 2013f) uma vez que em Sotsek et al. (2019) foram utilizadas outras normas, além dessa citada, para a criação da proposta em pauta. Assim, os critérios a serem avaliados diferem em Sotsek et al. (2019) e na NBR 15575 (ABNT, 2013a, 2013b, 2013c, 2013d, 2013e, 2013f). Como exemplo pode ser citado o desempenho acústico, que foi dividido em conforto acústico interno e externo em Sotsek et al. (2019) e é dividido conforme os sistemas da habitação na norma de desempenho. No caso da umidade relativa do ar, o resultado da pesquisa de Sotsek et al. (2019) apresenta o estudo desse item como essencial em uma

avaliação de uma edificação LWF. Já a norma em pauta apenas cita esse item como importante dentro do estudo de outros critérios.

Outra diferença entre a proposta de Sotsek et al. (2019) e a NBR 15575 (ABNT, 2013a, 2013b, 2013c, 2013d, 2013e, 2013f) é relativa a abordagem da avaliação. O primeiro propõe uma avaliação geral da edificação, uma BPE, onde são estudados os subcritérios isoladamente porém a avaliação segue para os critérios, dimensões até gerar uma classificação final do edifício avaliado, mostrando assim a situação geral do desempenho dessa edificação. Já no segundo caso, a norma de desempenho apresenta os requisitos a serem cumpridos item a item.

A partir dos resultados gerados pela pesquisa foi possível perceber que a proposta de avaliar cada subcritério da edificação, englobados em critérios, em dimensões e então a edificação como um todo pode ser mais adequada. Isso pois a avaliação de cada item isoladamente não seja capaz de traduzir o real desempenho da edificação, ou apartamento, conforme a unidade de análise estabelecida. Como exemplo podem ser citados os resultados encontrados para o desempenho acústico e térmico, que isoladamente foram satisfatórios mas como um todo podem resultar em um cenário de desconforto para o ocupante.

Apesar disso, atualmente as construtoras devem seguir a norma NBR 15575 (ABNT, 2013a, 2013b, 2013c, 2013d, 2013e, 2013f) com a finalidade de gerar uma edificação que atenda o desempenho adequado ao seu usuário. Espera-se que no futuro essa norma progrida para um cenário mais global da edificação. Nessa evolução, a condução das simulações de desempenho pode ser uma aliada, de preferência usando o mínimo de ferramentas possíveis de forma a simplificar, facilitar e difundir o processo.

6.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE O ESTUDO DE CASO

A escolha do estudo de caso foi baseada no sistema construtivo da edificação, procurando um empreendimento LWF construído de forma industrializada. Ademais, a escolha foi feita buscando uma edificação em que pudesse ter sua fase pré-ocupação disponível durante o tempo de desenvolvimento da presente pesquisa. A seleção do estudo de caso dependeu também do aceite de empresas que desenvolvessem esse tipo de edificação de forma a permitir a elaboração do estudo. Por fim, foi levado em consideração a localização do empreendimento, dando

preferência a edificação localizada em Curitiba ou região metropolitana. Conclui-se que a edificação selecionada como estudo de caso mostrou-se adequada uma vez que reunia todos os requisitos estabelecidos. Apesar disso, em algumas situações foi preciso comparar os resultados gerados com dados disponíveis para a cidade de Curitiba. Como o empreendimento está localizado em Araucária, região metropolitana da capital, pequenas divergências podem ter ocorrido. Dessa forma, a situação ideal para pesquisas futuras seria selecionar empreendimentos o mais perto possível das estações de medição oficial.

Ademais, de acordo com o objetivo central da pesquisa e as limitações da escolha da unidade de análise foi encontrado apenas um estudo de caso adequado. Pesquisas futuras poderiam desenvolver um estudo de casos múltiplos, entre edificações LWF similares, ou mesmo edificações de métodos construtivos diferentes a fim de responder a mesma pergunta de pesquisa. Nesse caso, para um melhor resultado seria interessante realizar as medições em campo simultaneamente precisando de um número adequado de equipamentos e pesquisadores.

6.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE O PROTOCOLO DE COLETA DE DADOS

A identificação da forma pertinente de como conduzir a avaliação por meio das medições foi feita pelo desenvolvimento de dois protocolos de coleta de dados, um relativo as medições em campo e outro as simulações de desempenho, tendo o primeiro sido validado e ajustado durante um teste piloto. A condução dessa atividade indicou que dos sete subcritérios, seis poderiam ser mensurados quantitativamente com o uso de equipamentos de medição. Apenas a circulação do ar (ventilação), subcritério do item qualidade do ar, não foi mensurado dessa forma. Durante a etapa do protocolo de coleta de dados também foi identificado que duas variáveis, sendo elas o desempenho térmico e a iluminação natural, têm simulações computacionais de desempenho previstas na norma de desempenho (NBR 15575-1 (ABNT, 2013a)).

Para a elaboração dos protocolos foi utilizada a ferramenta 5W1H, segundo a qual são feitas seis perguntas essenciais para o entendimento de um projeto, identificando informações imprescindíveis ao desenvolvimento das avaliações.

Quanto ao protocolo de dados das medições em campo, conclui-se que este viabilizou o processo de medições uma vez que reuniu as informações necessárias ao seu desenvolvimento. Além disso, a aplicação do protocolo mostrou-se uma forma

ordenada de gerenciar a avaliação de desempenho da edificação. O protocolo gerado pode ser utilizado em pesquisas futuras sendo necessário apenas adequar o número de cômodos, principalmente dormitórios, da edificação e os equipamentos disponíveis. Ademais, o protocolo em questão faz uma triagem visual das normas pertinentes na aplicação de uma avaliação em campo.

Com base nesse protocolo de coleta de dados também foram elaboradas folhas de verificação, as quais foram levadas a campo para anotação dos dados medidos. Tais folhas também são aplicáveis em futuras pesquisas, independentemente do método de construção da edificação, podendo ser facilmente adaptadas conforme necessidade do pesquisador.

Já no caso do protocolo de coleta de dados da simulação, foram dispostas as informações principais encontradas na NBR 15575 (ABNT, 2013a, 2013b, 2013c, 2013d, 2013e, 2013f), documento principal de referência do trabalho, uma vez que os outros documentos (SINAT Nº 005 (BRASIL, 2017b) e DATec Nº 020-C (BRASIL, 2017a) também baseiam-se no primeiro. Tais informações garantiram o desenvolvimento de simulações próximas ao ideal proposto em norma. Por fim, as informações sobre as simulações identificadas podem auxiliar futuras simulações térmicas e de iluminação natural a serem desenvolvidas.

6.5 CONSIDERAÇÕES SOBRE A AVALIAÇÃO PRÉ-OCUPAÇÃO EM CAMPO

A avaliação pré-ocupação desenvolvida por meio de medições em campo foi feita seguindo o protocolo de coleta de dados e utilizando as folhas de verificação elaboradas. As medições ocorreram sem imprevistos o que mostrou que o protocolo de coleta de dados é completo e aplicável.

Quanto ao desenvolvimento prático das medições, dependendo do número de critérios a serem avaliados, faz-se necessário ponderar sobre o número de pesquisadores necessários para que as medições ocorram como previsto. Caso sejam previstas medições de diversos critérios com auxílio de poucos pesquisadores, é recomendado que o espaçamento entre as medições seja aumentado.

O uso de estações de trabalho fixas para as medições, com a movimentação apenas do pesquisador e equipamento, ao invés de todo o sistema de apoio, mostrou-se uma solução adequada uma vez que permitiu que as medições fossem feitas com menor probabilidades de quedas e colisões entre equipamentos, objetos em geral e

pesquisadores. Assim, a relação entre o dimensionamento do número de pesquisadores auxiliando as medições, o posicionamento das estações de trabalho fixas para as medições, e o espaçamento temporal previsto entre cada medição, mostrou-se adequado e pode ser tomado como base em trabalhos futuros.

Quanto aos equipamentos, todos funcionaram como previsto gerando resultados para a pesquisa. Os locais identificados para as medições (pergunta *where* do protocolo) mostraram-se adequados para a geração de resultados pertinentes. Apesar disso, recomenda-se adicionar uma medição externa de umidade relativa, a fim de comparar a umidade relativa interna e a externa.

6.6 CONSIDERAÇÕES SOBRE A MODELAGEM E INTEROPERABILIDADE DE FERRAMENTAS BIM E DE DESEMPENHO

Quanto a modelagem do projeto, foi escolhido utilizar a ferramenta BIM Revit, que possibilitou de forma simples e rápida, o que pode variar de acordo com os conhecimentos prévios do pesquisador, a modelagem do projeto. A ferramenta possibilita ainda que as informações quanto a composição das paredes e suas respectivas características sejam cadastradas.

Apesar das diversas vantagens da ferramenta, percebeu-se limitações de interoperabilidade. Isso pois essa não possui conexão direta com a ferramenta de simulação térmica recomendada na NBR 15575-1 (ABNT, 2013a), o EnergyPlus. Dessa forma, foi necessário desenvolver um caminho de interoperabilidade entre as ferramentas, utilizando o SketchUp, versão 2017, como ferramenta auxiliar. O caminho seguido mostrou-se o mais adequado testado, tendo sido capaz de resolver a questão da interoperabilidade entre ferramentas e gerar resultados coerentes.

6.7 CONSIDERAÇÕES SOBRE A AVALIAÇÃO PRÉ-OCUPAÇÃO POR MEIO DE SIMULAÇÕES

Foram desenvolvidas simulações computacionais de desempenho térmico e do desempenho da iluminação natural da edificação, que são as simulações previstas nos documentos de referência da pesquisa.

Apesar da NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) recomendar o uso EnergyPlus, a simulação do desempenho térmico foi desenvolvida utilizando a ferramenta OpenStudio, uma vez que essa seja capaz de gerar os resultados do EnergyPlus se

assim for configurado. Essa escolha foi feita uma vez que o OpenStudio possua interface mais amigável que o EnergyPlus. Já no caso das simulações de desempenho de iluminação natural, não é prevista em norma ferramenta específica tendo sido escolhida a DIALux evo, devido sua interface amigável. A escolha das ferramentas foi tomada como coerente uma vez que ambas tenham permitido que fossem feitas as alterações necessárias nas configurações das simulações de forma a atender as imposições da norma de desempenho e gerar resultados validos

Sobre as simulações, a de desempenho térmico mostrou-se mais complicada do que a de iluminação natural uma vez que seja necessário prever etapas importantes para a simulação desde a fase de modelagem, com a inserção de características térmicas, por exemplo. As ferramentas escolhidas foram adequadas a problemática em questão, tendo gerado os resultados necessários a pesquisa.

6.8 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Foram ainda identificadas lacunas de pesquisa para trabalhos futuros. No caso do conforto térmico é recomendado verificar as situações extremas em que a edificação está exposta, no caso o verão e o inverno. Apesar das medições *in loco* terem ocorrido no início da primavera foram feitas simulações do desempenho térmico para o verão e o inverno, o que supriu essa questão da pesquisa. Porém, o mesmo não foi feito para a umidade relativa do ar, item este que foi estudado na primavera por meio da relação umidade do ar X temperatura interna, com a identificação da respectiva zona bioclimática. Assim, futuras pesquisas poderiam estudar a umidade relativa de uma edificação LWF no verão e/ou inverno com o uso da carta bioclimática.

Acrescenta-se que foram estabelecidos alguns caminhos de interoperabilidade entre ferramentas, estes porém podem ser atualizados em pesquisas futuras de forma a incentivar o emprego de simulações computacionais de desempenho da edificação, incentivando também a avaliação do desempenho das edificações.

Futuras pesquisas poderiam estudar o desempenho da edificação LWF em outras fases como na pós-ocupação, fase está em que os ocupantes já habitam o local, analisando assim tanto quantitativamente quanto qualitativamente, com a aplicação de questionários para os moradores, por exemplo, o desempenho da edificação.

Pesquisas futuras poderiam ainda avaliar alguns apartamentos similares construídos com diferentes sistemas construtivos de forma a avaliar o real impacto das construções LWF. Ainda sobre o LWF, sugere-se que pesquisas futuras estudem outras edificações construídas com esse sistema construtivo que possuam outras composições de parede.

Finalmente, espera-se que, pesquisas futuras sobre avaliação de desempenho das edificações busquem desenvolver estudos que englobem a edificação como um todo, seguindo uma avaliação de desempenho global e contínua.

REFERÊNCIAS

ABIKO, A. K.; ORNSTEIN, S. W. **Inserção Urbana e Avaliação Pós-Ocupação da habitação de Interesse Social**. Coleção Habitare, v.1, 377p. Porto Alegre: ANTAC, FINEP, CAIXA, 2002.

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (ABDI). **MANUAL DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA**. Conceitos e Etapas. Volume 1: Estrutura e Vedação. Brasília: ABDI, 2015.

AGHA-HOSSEIN, M.; BIRCHALL, S.; VATAL, S. **Building Performance Evaluation in Non-Domestic Buildings**. A guide for effective learning. 1ed. Berkshire: BSRIA, 2015.

ALMEIDA DE ARAÚJO, V.; CORTEZ-BARBOSA, J.; GARCIA, J. N.; GAVA, M. LAROCA, C.; CÉSAR, S. F. Wood frame: light framing houses for developing countries. **Revista de la construcción** [online], v.15, n.2, p. 78–87, 2015. DOI: 10.4067/S0718-915X2016000200008 Disponível em: <https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0718-915X2016000200008&lng=es&nrm=iso&tlng=en>. Acesso em: 15 abril 2017.

AMORIM, A.; LICARIÃO, C. **Conforto acústico**. Introdução ao conforto ambiental. São Paulo: FEC/ UNICAMP, 2005. Apostila digitalizada.

ARAUJO, A. M. F. de. **Avaliação de ciclo de vida em edificações a partir de modelagem BIM e simulação termo energética**: aplicação utilizando Revit e EnergyPlus. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) - Pós Graduação em Engenharia de Construção Civil (PPGECC), Universidade Federal do Paraná, 2018.

ARAÚJO, V. M. **Práticas recomendadas para a gestão mais sustentável de canteiros de obras**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

ASHRAE. **ASHRAE Standard 55**: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA (ABCI). **Manual Técnico de Pré-fabricados de Concreto**. São Paulo: Projeto, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10151**: Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento. Rio de Janeiro, 2000 Versão Corrigida 2003.

_____. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações. Parte 2: Método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005 Versão Corrigida 2008.

_____. **NBR 15575-1:** Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013a.

_____. **NBR 15575-2:** Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais. Rio de Janeiro, 2013b.

_____. **NBR 15575-3:** Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 3: Requisitos para sistemas de pisos. Rio de Janeiro, 2013c.

_____. **NBR 15575-4:** Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro, 2013d.

_____. **NBR 15575-5:** Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 5: Requisitos para sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2013e.

_____. **NBR 15575-6:** Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 6: Sistemas Hidrossanitários. Rio de Janeiro, 2013f.

_____. **NBR 9062:** Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 2017a.

_____. **NBR 10152:** Acústica — Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações. Rio de Janeiro, 2017b.

_____. **Avança a elaboração da Norma sobre Wood Frame.** Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/imprensa/releases/5319-avanca-a-elaboracao-da-norma-sobre-wood-frame>>. Acesso em: 26 abril 2018.

AZHAR, S.; BROWN, J.; FAROOQUI, R. BIM for Sustainability Analyses. **International Journal of Construction Education and Research**, v. 5, n. 4, p. 276–292, 2009. ISSN: 1557-8771. <https://doi.org/10.1080/15578770903355657>.

BALEN, E.; PANSEIRA, R. D.; ZANARDO, R. L. de P. *Wood frame*—Busca por sustentabilidade. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DAS EDIFICAÇÕES SUSTENTÁVEIS (SICS), 5, 2016, Passo Fundo. **Anais...** Passo Fundo: IMED, 2016. Disponível em: <https://www.imed.edu.br/Uploads/5_SICS_paper_19.pdf>. Acesso em: 10 março 2017.

BATISTA, J. O.; PEIXOTO, I. M. L.; CAVALCANTE, K. E. L; LIMA, I. M. de. Desempenho térmico de habitação multifamiliar do Programa Minha Casa Minha Vida em Maceió - AL. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ENTAC), 15, 2014, Maceió. **Anais...**

BORDASS, W.; LEAMAN, A.; ELEY, J. A guide to feedback and post-occupancy evaluation. **The Usable Buildings Trust**, p. 1–17, 2006.

BORJEGHALEH, R. M.; SARDROUD, J. M. Approaching Industrialization of Buildings and Integrated Construction Using Building Information Modeling. **Procedia Engineering**, v. 164, p. 534–541, 2016.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição**: República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal, 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em: 7 maio 2018.

_____. Ministério das Cidades. **Guia básico dos programas habitacionais**. Direito à moradia. 2007a. Disponível em: <https://www.mprs.mp.br/media/areas/urbanistico/arquivos/lts/guia_basico_dos_ph.pdf>. Acesso em: 25 abril 2018.

_____. Ministério da Cidades. **Regimento geral do Sistema Nacional de Avaliações Técnicas de produtos inovadores**. PORTARIA nº 345. Brasília, 2007b.

_____. Ministério das Cidades. **DATec Nº 020-C**. “Sistema estruturado em peças leves de madeira maciça serrada – Tecverde (tipo light wood framing)”. 2017a.

_____. Ministério das Cidades. **SINAT Nº 005 – Revisão 2**. Sistemas construtivos estruturados em peças leves de madeira maciça serrada, com fechamentos em chapas (Sistemas leves tipo “Light Wood Framing”). 2017b.

_____. Ministério das Cidades. Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade no Habitat (PBQP-H). **Sistema da Avaliação da Conformidade de Serviços e Obras – SIAC**. Regimento Geral. Regimento Específico da Especialidade Técnica Execução de Obras. 2017c. Disponível em: <http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_siic.php>. Acesso em: 16 maio 2018.

_____. Ministério das Cidades. Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade no Habitat (PBQP-H). **O PBQP-H Apresentação**. Disponível em: <http://pbqp-h.cidades.gov.br/pbqp_apresentacao.php>. Acesso em: 25 abril 2018a.

_____. Ministério das Cidades. **Programa de Arrendamento Residencial – PAR**. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br/habitacao-cidades/programas-e-acoessnh/67-snh-secretaria-nacional/programas-e-acoessnh/97-programa-de-arrendamento-residencial-par>>. Acesso em: 10 abril 2018b.

_____. Ministério do Meio Ambiente. **Melhoria da gestão ambiental urbana no Brasil - BRA/OEA/08/001**. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. Brasília, 63 p., 2010. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/srhu_urbano/_arquivos/4_manual_implantao_sistema_gesto_resduos_construo_civil_cp_125.pdf>. Acesso em: 07 maio 2017.

_____. Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão. **Habitação de interesse social**, 2017d. Disponível em: <<http://www.planejamento.gov.br/assuntos/gestao/patrimonio-da-uniao/destinacao-de-imoveis/habitacao-de-interesse-social>>. Acesso em: 25 abril 2018.

BRUNA, P. **Arquitetura, Industrialização e Desenvolvimento**. Coleção Debates, número 135, São Paulo: Perspectiva, 1976.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL (CEF). **Minha Casa Minha Vida - Habitação**

Urbana. Disponível em: <<http://www.caixa.gov.br/voce/habitacao/minha-casa-minha-vida/urbana/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 10 abril 2018a.

_____. **Cartilha Minha Casa Minha Vida**. Disponível em: <<http://www.ademi.org.br/docs/CartilhaCaixa.pdf>>. Acesso em: 25 abril 2018b.

CALQUIN, D. A. L.; WANDERSLEBEN, G.; CASTILLO, L. S. Interoperability map between BIM and BPS software. In: **COMPUTING IN CIVIL AND BUILDING ENGINEERING**, 2014, Orlando, Florida. **Proceedings...** Orlando, Florida: American Society of Civil Engineers (ASCE), 2014. p. 601–608.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). **Déficit Habitacional no Brasil**. 2017. Disponível em: <<http://www.cbicdados.com.br/menu/deficit-habitacional/deficit-habitacional-no-brasil>>. Acesso em: 26 de março de 2018.

CAMPENHOUDT, L. V; MARQUET, J.; QUIVY, R.. **Manuel de recherche en sciences sociales**. 5.ed. Paris: Dunod, 2017.

CANDIDO, C.; KIM, J.; DEAR, R. DE; THOMAS, L. BOSSA: A multidimensional post-occupancy evaluation tool. **Building Research & Information**, v. 44, n. 2, p. 214-228, 2016.

CARDOSO, L. M. **Tudo sobre os resíduos sólidos da construção civil**. 2017. Disponível em: <<https://www.sienge.com.br/blog/residuos-solidos-da-construcao-civil/>>. Acesso em: 08 jun 2018.

COMPANHIA DE HABITAÇÃO URBANA (COHAPAR). **Guia de Programas Habitacionais 2016/2018**. 2016. Disponível em: <http://www.cohapar.pr.gov.br/arquivos/File/GUIA_PROGRAMAS_COHAPAR.pdf>. Acesso em: 10 abril 2018.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Metodologia para determinação da média aritmética e do nível equivalente contínuo Leq**. Disponível em: <www.feb.unesp.br/jcandido/acustica/Textos/Cetesb-Leq.doc>. Acesso em: 07 dez 2017.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE MUNICÍPIOS (CNM). **Habitação Política Nacional de Habitação**. Coletânea Gestão Pública Municipal. Gestão 2013 – 2016. Volume 13. 2012.

CONSELHO INTERNACIONAL DE PESQUISA E INOVAÇÃO NA CONSTRUÇÃO (CIB). **CIB Passado e Presente**. Disponível em: <<http://www.pcc.poli.usp.br/latinamericancib/sobreocib.html>>. Acesso em: 26 abril 2018.

CORDOVIL, L. A. B. L. **Estudo da ABNT NBR 15575 – “Edificações habitacionais – Desempenho” e possíveis impactos no setor da construção civil na cidade do Rio de Janeiro**. 77 p. Trabalho de Graduação (Disciplina Tema Final) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), 2013.

DE ARAGÃO, D. L. L. J.; HIROTA, E. H. Sistematização de requisitos do usuário com o uso da Casa da Qualidade do QFD na etapa de concepção de unidades habitacionais de interesse social no âmbito do Programa Minha Casa, Minha Vida. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 4, p. 271-291, out./dez. 2016. ISSN 1678-8621. Disponível em: <<http://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/52902>>. Acesso em: 20 mar.2018. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212016000400118>.

DE BRITO, A. C.; SALLES, E. M.; VITTORINO, F.; AQUILINO, M. de M.; AKUTSU, M. Avaliação de desempenho térmico de habitações segundo a Norma ABNT NBR 15575: proposta para aprimoramento do método detalhado. **Revista IPT: Tecnologia e Inovação**, v. 1, n. 6, 2017.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. **Design Science research**: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia. Porto Alegre: Bookman, 2015.

EASTMAN, C., TEICHOLZ, P., SACKS, R.; LISTON, K. **Manual de BIM**: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. Tradução: Cervantes Gonçalves Ayres Filho et al. Porto Alegre: Bookman, 2014.

EL DEBS, M. K. **Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações**. São Carlos, SP: ESC/USP, 2000.

ELLIOT, R. S. Precast Frame Concepts, Economics and Architectural Requirements. In: WORKSHOP ON DESIGN & CONSTRUCTION OF PRECAST CONCRETE STRUCTURES, 2002. **Proceedings...** Singapore: Construction Industry Training Institute, 2002.

EMMITT, S.; GORSE, C. A. **Barry's advanced construction of buildings**. Grã Bretanha: Editora Blackwell, 2010.

ESPÍNDOLA, L. da R; INO, A. Inserção e financiamento do sistema Wood Frame no Programa Habitacional Minha Casa Minha Vida In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ENTAC), 15., 2014, Maceió. **Anais...**

ESPÍNDOLA, L. da R. **O wood frame na produção de habitação social no Brasil**. 311p. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

FERREIRA, F. M. M. Panorama geral do desempenho térmico de edificações habitacionais construídas em diferentes empreendimentos do Programa Minha Casa Minha Vida na região central do estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA USP (SIICUSP), 22, 2014, São Paulo. **Anais eletrônicos...** São Paulo: USP, 2014.

FILIPPÍN, C.; LARSEN, S. F.; MAREK, L. Experimental monitoring and post-occupancy evaluation of a non-domestic solar building in the central region of Argentina. **Energy and Buildings**, v. 92, p. 267-281, 2015.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D.T. **Métodos de pesquisa**. 1.ed. UAB/UFRGS, SEAD/UFRGS. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GIBB, A. G.; ISACK, F. Re-engineering through pre-assembly - client expectations and drivers. **Building Research & Information**, v. 31, n. 2, p. 146–160, 2003.

GIBB, A. G. F. **Off-site Fabrication – Pre-assembly, Prefabrication & Modularisation**, 1.ed. Caithness: Whittles Publishing Services, 1999.

_____. Standardization and pre-assembly- distinguishing myth from reality using case study research. **Construction Management & Economics**, v. 19, n. 3, p. 307–315, 2001.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 5 ed., 2010.

GONÇALVES, H.; GRAÇA, J. M. **Conceitos bioclimáticos para os edifícios em Portugal**. Lisboa: DGGE/IP-3E, 2004.

GOU, Z. SIU-YU LAU, S. Post-occupancy evaluation of the thermal environment in a green building. **Facilities**, v. 31, n. 7/8, p. 357-371, 2013.

HASSETT, E. Implementation and assessment of a methodology for the inclusion of post- occupancy evaluation into the procurement process of healthcare facilities in Ireland. p 1–20, 2013. Disponível em: <<https://www.hse.ie/eng/services/news/newsfeatures/healthsustainabilityoffice/buildings/o-gmit-masters-research-on-post-occupancy-evaluation-of-capital-procurement-process-in-a-healthcare-facility-loughrea-community-nursing-unit-.pdf>>. Acesso em: 02 maio 2018.

IBGE. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD)**. v.28, 2007. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/pesquisas/pesquisa_resultados.php?id_pesquisa=40>. Acesso em: 26 mar. 2017.

_____.v.29, 2008; Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/pesquisas/pesquisa_resultados.php?id_pesquisa=40>. Acesso em: 26 mar. 2017.

_____.v.30, 2009; Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/pesquisas/pesquisa_resultados.php?id_pesquisa=40>. Acesso em: 26 mar. 2017.

_____.v.31, 2011; Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/pesquisas/pesquisa_resultados.php?id_pesquisa=40>. Acesso em: 26 mar. 2017.

_____.v.32, 2012; Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/pesquisas/pesquisa_resultados.php?id_pesquisa=40>.

quisa=40>. Acesso em: 26 mar. 2017.

_____. _____.v.33, 2013; Disponível em:
<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/pesquisas/pesquisa_resultados.php?id_pesquisa=40>. Acesso em: 26 mar. 2017.

_____. _____.v.34, 2014. Disponível em:
<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/pesquisas/pesquisa_resultados.php?id_pesquisa=40>. Acesso em: 26 mar. 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). **Regulamento Técnico da Qualidade Para o Nível de Eficiência Energética Edificações Residenciais**. RTQ-R. Portaria n.18, de 16 de Janeiro de 2012.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 6241**: Performance standards in building - Principles for their preparation and factors to be considered. 1984.

_____. **ISO 7726**: Ergonomics of the thermal environment - Instruments for measuring physical quantities. 1998.

_____. **ISO 10052**: Acoustics - Field measurements of airborne and impact sound insulation and of service equipment sound - Survey method. 2004.

_____. **ISO 19208**: Framework for specifying performance in buildings. 2016.

IWAKIRI, V. T. **Projeto racionalizado de painéis verticais para edificações em madeira no sistema plataforma semi-industrializado**. 203 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) –Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 2013.

LABEEE. **Arquivos climáticos em formato TRY, SWERA, CSV e BIN**. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-try-swera-csv-bin>>. Acesso em: 05 nov. 2018.

LAMBERTS, R.; GHISI, E.; ABREU, A. L. P. DE; CARLO, J. C; BATISTA, J. O.; MARINOSKI, D. L.; NARANJO, A.; DUARTE, V. C. P. **Desempenho térmico de edificações**. 7.ed. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, UFSC, 2016. Apostila digitalizada.

LAMBERTS, R. XAVIER, A. A.; GOULART, S.; VECCHI, R. de. **Conforto e stress térmico**. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, UFSC, 2011. Apostila digitalizada.

LAWSON, M.; OGDEN, R.; GOODIER, C. **Design in modular construction**. New York: CRC Press, 2014.

LEAMAN, A.; STEVENSON, F.; BORDASS, B. Building evaluation: practice and principles. **Building Research & Information**, v. 38, n. 5, p. 564-577, 2010. DOI: 10.1080/09613218.2010.495217

LEAMAN, A.; THOMAS, L.; VANDENBERG, M. “‘Green’ Buildings : What Australian Building Users Are Saying.”. **EcoLibrium**, v.6, n.10, p. 22–30, 2007.

LEITNER, D. S.; SCHEER, S.; SANTOS, A. de P. L. O uso do BIM para avaliação do desempenho dos edifícios. **Revista Gestão & Tecnologia de Projetos**, 2019. No prelo.

LEITNER, D. S.; SOTSEK, N. C.; SANTOS, A. de P. L. Post-occupancy evaluation in buildings: a systematic literature review. **Journal of Performance of Constructed Facilities**, 2019. Submetido à publicação.

MALESZA, J.; MIEDZIAŁOWSKI, C. Current Directions in Development of Modern Wood-framed Houses. **Procedia Engineering**, v. 172, p. 701–705, 2017.

MALLORY-HILL, S.; PREISER, W. F.; WATSON, C. G. **Enhancing building performance**. 1.ed. Chichester: Blackwell Publishing (John Wiley & Sons), 2012.

MANDOLESI, E. **Edificación. El proceso de edificación. La edificación industrializada. La edificación del futuro**. Barcelona: Ediciones CEAC, 1981.

MAO, C.; XIE, F.; HOU, L.; WU, P.; WANG, J.; WANG, X. Cost analysis for sustainable off-site construction based on a multiple-case study in China. **Habitat International**, v. 57, p. 215–222, 2016.

MENDES, N.; WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R.; CUNHA NETO, J. A. B. Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 5, n. 4, p. 47-68, out./dez. 2005.

MOLINA, J. C.; CALIL JUNIOR, C. Sistema construtivo em *wood frame* para casas de madeira. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v. 31, n. 2, p. 143-156, 2010. Online. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semexatas/article/view/4017/6906>>. Acesso em: 08 mar. 2017.

MOON, H. J.; CHOI, M. S.; KIM, S. K.; RYU, S. H. Case studies for the evaluation of interoperability between a BIM based architectural model and building performance analysis programs. In: CONFERENCE OF INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION, 12, 2011, Sydney, Australia. **Proceedings...** Sydney, Austrália: 2011. p.1521–1526.

NASCIMENTO, L. A.; SANTOS, E. T. A indústria da construção na era da informação. **Ambiente Construído**, n. 11, p. 69–81, 2003.

OLIVEIRA, L. A. **Tecnologia de painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto para emprego em fachadas de edifícios**. 191p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

OSRAM. **Iluminação: Conceitos e Projetos**. 2006.

PEREIRA, N. N.; VIEIRA, R. B. “*Wood Frame*”: Tecnologia de Construção Sustentável. **Revista Perquirere**, v. 12, n. 1, p. 194-213, 2015.

PIERRARD, J.F.; AKKERMAN, D. **Manual ProAcústica sobre a Norma de Desempenho**. ProAcústica Associação Brasileira para a Qualidade Acústica. 1.ed. RUSH Gráfica e Editora Ltda, 2013.

PREISER, W. F. E. **Building evaluation**. 1.ed. New York: Springer Science + Business Media, 1989.

_____. Post-occupancy evaluation: how to make buildings work better. **Facilities**, v.13, n.11, 19–28, 1995.

PREISER, W. F. E.; SCHRAMM, U. Building performance evaluation. In: Watson, D.; CROSBIE, M. J.; CALLENDER, J. H. **Time-Saver Standards: Architectural Design Data**. 7ed. New York: McGraw-Hill, 1997.

_____. Intelligent office building performance evaluation. **Facilities**, v. 20, n. 7/8, p. 279-287, 2002.

PREISER, W. F. E.; VISCHER, J. C. **Assessing building performance**. 1.ed. Oxford: Elsevier-Butterworth Heinemann, 2005.

PREISER, W. F. E.; WHITE, E.; RABINOWITZ, H. **Post-Occupancy Evaluation** (Routledge Revivals). Oxon: Routledge, 2015.

PRETTI, S. M. **Engenharia Simultânea em construtoras incorporadoras: uma análise de maturidade**. 2013. 246f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2013.

QUEIRÓZ, G. R. de. **Análise da interoperabilidade entre os programas computacionais Autodesk Revit e Energyplus para a simulação térmica de edificações**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

QUEIRÓZ, G. R. de; GRIGOLETTI, G. de C.; SANTOS, J. C. P. dos. Interoperabilidade entre os programas AutoDesk Revit e EnergyPlus para simulação térmica de edificações. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 10, p. e01905, jan. 2019. ISSN 1980-6809. Disponível em: <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8652852>>. Acesso em: 02 jan. 2019. doi: <https://doi.org/10.20396/parc.v10i0.8652852>

ROMÉRO, M. de A.; ORNSTEIN, S. W. **Avaliação Pós-ocupação: Métodos e Técnicas Aplicados à Habitação Social**. Coleção Habitare. 294p. Porto Alegre: ANTAC, FINEP, CAIXA, 2003.

SACCO, M.; STAMATO, G. C. Light wood frame - construções com estrutura leve de madeira. **Techné** –Tecnologia, ed. 140, 2008. Disponível em <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/140/artigo287602-1.aspx>>. Acesso em: 27 março 2017.

SALAS, S. J. **Construção Industrializada: pré-fabricação**. São Paulo: Instituto de pesquisas tecnológicas, 1988.

SANNI-ANIBIRE, M. O.; HASSANAIN, M. A. Post-Occupancy Evaluation of Housing Facilities: Overview and Summary of Methods. **Journal of Performance of Constructed Facilities**, v. 30, n. 5, 2016.

SANTOS, L. V. dos. **Avaliação pós-ocupação da habitação de interesse social no Brasil: uma revisão sistemática da literatura**. Dissertação (Mestrado em Serviço Social) - Pós Graduação em Serviço Social da Universidade Federal do Pará, 2015.

SHEN, W.; SHEN, Q.; SUN, Q. Building Information Modeling-based user activity simulation and evaluation method for improving designer–user communications. **Automation in Construction**, v. 21, p. 148-160, 2012.

SILVA, F. B. Wood frame- construções com perfis e chapas de madeira. **Techné – Sistemas Construtivos**, ed.161, 2010. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/161/sistemas-construtivos-286726-1.aspx>>. Acesso em: 03 março 2017.

SINDUSCON-SP. **Gestão Ambiental de Resíduos da Construção Civil: avanços institucionais e melhorias técnicas**. São Paulo, 2015. Disponível em: <<http://www.sindusconsp.com.br/wp-content/uploads/2015/09/MANUAL-DE-RES%C3%8DDUOS-2015.pdf>>. Acesso em: 07 maio 2018.

SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R. Análise do procedimento de simulação da NBR 15575 para avaliação do desempenho térmico de edificações residenciais. **Ambiente Construído**, v. 14, n. 4, p. 83-101, 2014.

SOTSEK, N. C.; LEITNER, D.S.; SANTOS, B.L.; NEGRÃO, J. dos S. M.; SANTOS; A. de P.L. Evaluation method for building performance of social housing using LWF in Latin America. **Ambiente Construído**, Special Edition – Construcion Management and Economics, 2019. Submetido à publicação.

SOUZA, B. A.; OLIVEIRA, C. A. C.; SANTANA, J.C.O.; NETO, L.A.C.V; SANTOS, D.G. Análise dos indicadores PIB nacional e PIB da indústria da construção civil. **Revista de Desenvolvimento Econômico**, Salvador, v. 17, n. 31, p. 140-150, jan./jun. 2015.

SOUZA, L. G. Análise comparativa do custo de uma casa unifamiliar nos sistemas construtivos de alvenaria, madeira de lei e *Wood Frame*. **Revista Especialize -IPOG**, Florianópolis, SC, 2013.

STRELETS, K.; PERLOVA, E.; PLATONOVA, M.; PANKOVA, A.; ROMERO, M.; AL-SHABAB, M. S. Post Occupancy Evaluation (POE) and Energy Conservation Opportunities (ECOs) Study for Three Facilities in SPbPU in Saint Petersburg. **Procedia engineering**, v. 165, p. 1568-1578, 2016.

TATUM, C. B., VANEGAS, J. A.; WILLIAMS, J. M. **Constructability Improvement Using Prefabrication, Pre-assembly and Modularization**. Technical Report No.

297.Salford: Construction Industry Institute University of Stanford, 1986.

TECVERDE. **Panorama do Sistema Construtivo Tecverde**, 2016. Disponível em: <<http://www.tecverde.com.br/wp-content/uploads/2016/02/Panorama-do-Sistema-Construtivo-Tecverde.pdf>>. Acesso em: 25 abril 2018.

TEIXEIRA, H.; CARVALHO, L.; MARTINS, T. A. de L. Avaliação do Desempenho do Ambiente Construído: Estudo de caso na Creche – UFRJ. **Relatório final da disciplina FAP 715** - Avaliação de Desempenho do Ambiente Construído, PROARQ, UFRJ, 2008.

THALLON, R. **Graphic guide to frame construction**.3.ed.Newtown (CT): Taunton Press, 2008.

VASCONCELOS, A. C. **O Concreto no Brasil - pré-fabricação, monumentos, fundações**. Volume III. São Paulo: Studio Nobel, 2002.

VILLA, S. B.; SARAMAGO, R. de C. P.; GARCIA, L. C. **Avaliação Pós-Ocupação No Programa Minha Casa Minha Vida uma experiência metodológica**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, PROEX, 1.ed., 2015.

WHEELER, A.; MALEKZADEH, M. Exploring the use of new school buildings through post-occupancy evaluation and participatory action research. **Architectural Engineering and Design Management**, v. 11, n. 6, p. 440-456, 2015.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOSS, D. **A máquina que mudou o mundo**.3.ed. Rio de Janeiro: Campus, 1992.

WOO, J. A post-occupancy evaluation of a modular multi-residential development in Melbourne, Australia. **Procedia engineering**, v. 180, p. 365-372, 2017.

YIN, R. K. **Estudo de Caso - Planejamento e Métodos**. Tradução de Daniel Grassi. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 212 p., reimpressão, 2004.

ZHAI, X.; REED, R.; MILLS, A. Factors impeding the offsite production of housing construction in China: an investigation of current practice. **Construction Management and Economics**, v. 32, n. 1-2, p. 40-52, 2014.

ZHANG, X.; SKITMORE, M.; PENG, Y. Exploring the challenges to industrialized residential building in China. **Habitat International**, v. 41, p. 176-184, 2014.

APÊNDICE A – QUADROS E TABELAS DE SOTSEK ET AL. (2019)

DIMENSÕES, CRITÉRIOS E SUBCRITÉRIOS PARA UMA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE EDIFICAÇÕES EM LWF

DIMENSÕES	CRITÉRIOS	SUBCRITÉRIOS
DIMENSÃO 1	Segurança e proteção	Segurança contra incêndios
		Proteção contra microrganismos, insetos e animais perigosos
		Segurança quanto a resistência estrutural (paredes)
	Instalações elétricas	Facilidade a acesso dos componentes elétricos (tomadas e conectores)
		Limpeza e segurança dos componentes das instalações elétricas (tomadas e conectores)
	Instalações hidráulicas	Facilidade a acesso aos mecanismos hidráulicos
		Limpeza e segurança das instalações sanitárias internas e externas
	Instalações de telecomunicação	Facilidade a acesso aos mecanismos de telecomunicações (telefone, internet, etc.)
	Organização do ambiente	Plano de manutenção preventiva e contínua em todas as instalações (elétricas, hidráulicas, térmicas - se houver, etc.)
DIMENSÃO 2	Conforto térmico	Flexibilidade e adaptatibilidade
		Temperatura interna do ambiente
	Conforto acústico	Variação térmica da temperatura (4 estações/inverno-verão)
		Nível de ruído interno
	Conforto visual	Nível de ruído externo (vizinhos, bairro, rua, etc.)
		Iluminação natural
	Qualidade do ar interno	Circulação do ar (ventilação)
		Umidade do ar
	DIMENSÃO 3	Documentação da edificação
Plano ambiental (sustentabilidade)		
Plano de manutenção		
Treinamento		Guia aos moradores
Gerenciamento		Manutenção contínua feita dos moradores (3, 6, 9, 12 meses)
		Programas de conscientização
DIMENSÃO 4	Durabilidade estrutural	Relação construtora x moradores
		Superfícies internas do empreendimento (rachaduras, fissuras, buracos, etc.)
	Manutenção	Superfícies externas do empreendimento (rachaduras, fissuras, buracos, etc.)
		Preventiva das superfícies internas do empreendimento
	Vedações	Preventiva das superfícies externas do empreendimento
		Isolamento (proteção da entrada do ar)
DIMENSÃO 5	Satisfação dos moradores	Estanqueidade à água
		Segurança da vida e dos bens imobiliários
		Sensação de "pertencimento ao ambiente"
		Sensação de "bem estar"
	Eficiência energética	Produtividade e desempenho
		Gestão da captação da água da chuva
		Gestão de energia renovável (captação solar)
	Custos	Gestão de gases poluentes
		Custos de manutenção (materiais, equipamentos, pessoas)
	Aparência física	Custo previsto X real (água, luz, etc.)
Qualidade dos materiais utilizados na edificação		
		Manutenção da aparência física da edificação

Fonte: SOTSEK et al. (2019).

DISTRIBUIÇÃO DOS PESOS ATRIBUÍDOS POR CRITÉRIO

Critérios para análise de desempenho de edificações em LWF	Pontos	Percentual (%)
1. DIMENSÃO 1	21	12
1.1 PROTEÇÃO E SEGURANÇA	9	5
1.2 INSTALAÇÕES ELÉTRICAS	3	2
1.3 INSTALAÇÕES SANITÁRIAS	3	2
1.4 INSTALAÇÕES TELECOMUNICAÇÕES	1	1
1.5 ORGANIZAÇÃO DO AMBIENTE	4	2
2. DIMENSÃO 2	42	25
2.1 CONFORTO TÉRMICO	30	17
2.2 CONFORTO ACÚSTICO	6	3
2.3 CONFORTO VISUAL	1	1
2.4 QUALIDADE DO AR	5	3
3. DIMENSÃO 3	11	6
3.1 DOCUMENTAÇÃO DA EDIFICAÇÃO	6	3
3.2 TREINAMENTO DOS MORADORES	1	1
3.3 GERENCIAMENTO DAS INSTALAÇÕES PELOS MORADORES	3	2
4. DIMENSÃO 4	68	39
4.1 DURABILIDADE ESTRUTURAL	11	6
4.2 MANUTENÇÃO	3	2
4.3 VEDAÇÕES	53	31
5. DIMENSÃO 5	31	18
5.1 SATISFAÇÃO DOS MORADORES	17	10
5.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	3	2
5.3 CUSTOS	4	2
5.4 APARÊNCIA FÍSICA	7	4
TOTAL	173	100

Fonte: SOTSEK et al. (2019).

APÊNDICE B – APLICAÇÕES DA INTEGRAÇÃO DO MODELO BIM COM AS FERRAMENTAS DE SIMULAÇÃO

PUBLICAÇÕES QUE DESENVOLVERAM APLICAÇÕES DA INTEGRAÇÃO MODELO BIM E FERRAMENTAS DE SIMULAÇÃO, FERRAMENTAS UTILIZADAS E INDICAÇÃO DAS SIMULAÇÕES ENERGÉTICAS (E), TÉRMICAS (T), DE ILUMINAÇÃO E SOLAR (I) DESENVOLVIDAS POR CADA AUTOR

AUTOR	FERRAMENTA			
	BIM	SIMULAÇÃO		
Chaisuparasmikul (2006)	Revit	DOE-2	E	
Barch, Gillard e Littlewood (2009)	Archicad	Ecotect		I
Schlueter e Thesseling (2009)	Revit	<i>Design Performance Viewer (DPV)</i>	E	
Azhar, Brown e Sattineni (2010)		IES-VE	E	I T
Corry et al. (2011)			E	I
Raheem, Issa e Olbina (2011)		DesignBuilder	E	
Cho, Chen e Woo (2012)	Revit	Energy Plus; IES-VE	E	
Lee (2012)	Revit	GBS; Ecotect	E	I
Díaz-Vilariño et al. (2013)	Modelo gerado por <i>laser scanners</i>	Ecotect	E	I
O'Donnell et al. (2013)	SimModel (proposta do estudo)	EnergyPlus	E	
Yan et al. (2013)	Revit	Radiance; Daysim	E	I T
Baumgärtel e Scherer (2014)		Virtual Energy Laboratory (VEL)	E	
Kota et al. (2014)	Revit	Radiance; Daysim		I
Göçer, Hua e Göçer (2015)		EnergyPlus, DOE-2, TRNSYS	E	I T
Hamedani e Smith (2015)	SketchUp	Ecotect; Sefaira	E	
Hu, Shen e Gu (2015)	SURrogateMOdeling (SUMO) Toolbox	EnergyPlus	E	
Jeong et al. (2015)	Revit			T
RahmaniAsl et al. (2015)	Revit	Optimo	E	I
Ronzino et al. (2015)	Revit	Edilclima EC770; DesignBuilder	E	
Shi et al. (2015)	Revit	EnergyPlus	E	
Shoubi et al. (2015)	Revit	Ecotect	E	
Stundon et al. (2015)	Revit	IES-VE; GBS	E	
Wang e Cho (2015a)	Modelo gerado por <i>laser scanners</i>	GBS	E	
Wang e Cho (2015b)	Modelo gerado por <i>laser scanners</i>	GBS; Ecotect	E	
Jeong e Kim (2016)	Revit			T
Kanellos et al. (2016)	Revit	PYRONES		
Migilinskas et al. (2016)	Revit	DesignBuilder	E	
Oduyemi e Okoroh (2016)	Revit	Ecotect	E	I T
Zainudin et al. (2016)	Revit	GBS		I
Abdelalim, O'Brien e Shi (2017)	Revit	EnergyPlus; GBS	E	T
Bottaccioli et al. (2017)	Revit	EnergyPlus	E	
Chen et al. (2017)	Revit	Vasari; GBS		I
Habibi (2017)	Revit	Ecotect; IES-VE; Daysim	E	I T
Juan e Hsing (2017)	Revit	Vasari; Ecotect; <i>Fire Dynamics Simulator</i>		I
Patiño-Cambeiro et al. (2017)	Revit	DesignBuilder	E	
Pruvost e Scherer (2017)			E	
Zani et al. (2017)	SketchUp	EnergyPlus	E	
Zhang e Ong (2017)	Revit	GBS	E	

FONTE: LEITNER, SCHEER e SANTOS (2019).

APÊNDICE C – MEDIÇÕES EM CAMPO IDENTIFICADAS EM PUBLICAÇÕES

MEDIÇÕES DE TEMPERATURA DO AR IDENTIFICADAS EM PUBLICAÇÕES

AUTOR	EQUIPAMENTO	PERÍODO DE MEDIÇÃO	TEMPO DE MEDIÇÃO	OBSERVAÇÕES
Gou e Lau (2013)	Kestral 4,000 <i>meters</i> (precisão +/- 1°C)	Verão (10/09/2010 a 16/09/2010) e inverno (12/10/2010 a 16/12/2010)	A cada 20 minutos	Posicionados em tripés
Khamidi, Ismail e Zahari (2013)	AMI 300 <i>Multifunction e Hygro-thermometer</i> MS1525 25°C -26°C (precisão ± 0,5°C)	Entre as 10:30 e as 15:30 (durante 1 dia)	A cada 30 minutos	1 metro acima do nível do chão
Kinnane e Dyer (2013)	Sensores de monitoramento	9 dias de medições (não corridos). De 19/10 a 13/12	Medições contínuas por 2 horas/ dia	
Deuble e De Dear (2014)	<i>Dataloggers</i>	Março/2009 a Abril/2010	Intervalos de 5 minutos	
Kishnani et al. (2014)	Carrinho de instrumento (construído para o estudo)	Medições feitas em diversos dias		
Alborz e Berardi (2015)	<i>Dataloggers</i>	Novembro/ 2013 a Dezembro/2013		
Filippín, Larsen e Marek (2015)	<i>Dataloggers</i> - Registradores de dados HOBO	1 ano (9/08/2011 a 18/08/2012)	A cada 10 min	
Shannon e Sinnott (2015)	Registradores de dados de temperatura	Novembro a Maio	A cada 15 min	
Candido et al. (2016)	BOSSA Nova - carrinho de instrumentos		Amostras de três minutos	
Lawrence e Keime (2016)	Anemômetro, termômetro de globo radiante, termômetro de ar e sonda de RH conectada a um medidor multifunções Testo 435 portátil			As medições foram tomadas a uma altura de 1,1 m no centro dos espaços analisados, longe dos radiadores e outras fontes de calor
Pretlove e Kade (2016)	<i>Dataloggers</i> HOBO H8 (precisão de ± 0,7 °C) e LASCAR EL-USB-2 (precisão de ± 0,5 °C)	15 Março/2013 a 14 Março/2014	A cada hora	Quatro locais em cada habitação: sala de estar, cozinha, quarto e fora
Sanni-Anibire, Hassanain e Al-Hammad (2016)	Anemômetro Thermohygro EXTECH	Dezembro/ 2014 (inverno) (não informa quantos dias)	Das 11:00 hrs às 14:00 hrs	
Jones, Goodhew e De Wilde (2016)	Registradores de temperatura HWM Ecosense (± 0,3 °C)	1 de julho a 31 de agosto de 2013 (verão)	A cada 5 min	
Besen, Leardini e Boarin (2017)	Plataforma <i>wireless</i>	Julho de 2015 - junho de 2016	A cada 15 min	
Silva et al. (2017)	Sensor "Wöhler CDL 210 CO -Datalogger"	1 mês (primavera – 2015)	A cada 15 min	

FONTE: A autora (2019).

MEDIÇÕES DO NÍVEL SONORO IDENTIFICADAS EM PUBLICAÇÕES

AUTOR	EQUIPAMENTO	PERÍODO DE MEDIÇÃO	TEMPO DE MEDIÇÃO	OBSERVAÇÕES
Khamidi, Ismail e Zahari (2013)	Medidor de nível sonoro	Entre as 10:30 e as 15:30 (durante 1 dia)	Leituras realizadas a cada 30 minutos	Nível sonoro interno
Woo (2014)	Medidor de nível sonoro	Fim de Maio a início de Julho	Três medições (manhã, meio-dia e tarde) de 5 minutos durante o horário de funcionamento	
Candido et al. (2016)	BOSSA Nova - carrinho de instrumentos		Registra amostras de três minutos	
Strelets et al. (2016)				
Sanni-Anibire, Hassanain e Al-Hammad (2016)	Medidor de nível sonoro 130G EXTECH	Dezembro 2014 (inverno)	Das 11:00 hrs às 14:00 hrs	Quatro locais (nos cantos e centros) realizada no nível de sentar, dormir e trabalhar em espaços de convivência

FONTE: A autora (2019).

MEDIÇÕES DE VELOCIDADE DO AR IDENTIFICADAS EM PUBLICAÇÕES

AUTOR	EQUIPAMENTO	DATA/ PERÍODO DA MEDIÇÃO	TEMPO DE MEDIÇÃO	OBSERVAÇÕES
Khamidi, Ismail e Zahari (2013)	AMI 300 <i>Multifunction</i> MS1525 ≤ 0.7 m/s (0.15 m/s - 0.5 m/s).	Entre as 10:30 e as 15:30 (durante 1 dia)	A cada 30 minutos	Os instrumentos de medição são lidos a cerca de 1 metro acima do nível do chão.
Deuble e De Dear (2014)	Anemômetro térmico portátil (TSI VelociCalc)	Março/2009 a Abril/2010.	Intervalos de 5 minutos	
Woo (2014)		Fim de Maio a início de Julho	Três medições (manhã, meio-dia e tarde) de 5 minutos durante o horário de funcionamento	
Candido et al. (2016)	BOSSA Nova - carrinho de instrumentos		Registra amostras de três minutos	

FONTE: A autora (2019).

MEDIÇÕES DE UMIDADE DO AR IDENTIFICADAS EM PUBLICAÇÕES

AUTOR	EQUIPAMENTO	DATA/ PERÍODO DA MEDIÇÃO	TEMPO DE MEDIÇÃO	OBSERVAÇÕES
Altan, Refaee e Mohelnikova (2013)		Dois anos	Perfis diários de monitoramento	Valores de umidade relativa máximos, mínimos e médios
Gou e Lau (2013)	Kestral 4,000 <i>meters</i> (precisão +/- 3.0°C)	Verão (10/09/2010 a 16/09/2010) e inverno (12/10/2010 a 16/12/2010)	A cada 20 minutos	Posicionados em tripés
Khamidi, Ismail e Zahari (2013)	AMI 300 <i>Multifunction e Hygro-thermometer</i> MS1525 <= 70% (precisão of $\pm 0.6\%$)	Entre as 10:30 e as 15:30 (durante 1 dia)	A cada 30 minutos	1 metro acima do nível do chão
Deuble e De Dear (2014)	<i>Dataloggers</i>	12 meses - Março/2009 a Abril/2010.	Intervalos de 5 minutos	
Woo (2014)		Fim de Maio a início de Julho	Três medições (manhã, meio-dia e tarde) de 5 minutos durante o horário de funcionamento	
Alborz e Berardi (2015)		Novembro/ 2013 a Dezembro/2013		
Candido et al. (2016)	BOSSA Nova - carrinho de instrumentos		Registra amostras de três minutos	
Filippín, Larsen e Marek (2015)	<i>Dataloggers</i> - Registradores de dados HOBO	1 ano (9/08/2011 a 18/08/2012)	A cada 10 min	
Pretlove e Kade (2016)	<i>Dataloggers</i> HOBO H8 (precisão de $\pm 0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$) e LASCAR EL-USB-2 (precisão de $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$)	15 Março/2013 a 14 Março/2014	A cada hora	Quatro locais em cada habitação: sala de estar, cozinha, quarto e exterior
Lawrence e Keime (2016)	Anemômetro, um termômetro de globo radiante, um termômetro de ar e uma sonda de RH conectada a um medidor multifunções Testo 435 portátil			As medições foram tomadas a uma altura de 1,1 m no centro dos espaços analisados, longe dos radiadores e outras fontes de calor
Sanni-Anibire, Hassanain e Al-Hammad (2016)	Anemômetro <i>Thermohygro</i> EXTECH	Dezembro/ 2014 (inverno) (não informa quantos dias)	Das 11:00 hrs às 14:00 hrs	
Besen, Leardini e Boarin (2017)	Plataforma <i>wireless</i>	Julho de 2015 - junho de 2016	A cada 15 min	
Silva et al. (2017)	Sensor "Wöhler CDL 210 CO - <i>Datalogger</i> "	1 mês (primavera - 2015)	A cada 15 min	

FONTE: A autora (2019).

REFERÊNCIAS DO APÊNDICE C

- ALBORZ, N.; BERARDI, U. A post occupancy evaluation framework for LEED certified US higher education residence halls. **Procedia Engineering**, v. 118, p. 19-27, 2015.
- ALTAN, H.; REFAEE, M.; MOHELNIKOVA, J. Post Occupancy Evaluation of University Eco Residences: A Case Study of Student Accommodation at Lancaster, UK. In: Portugal SB13 - Contribution of Sustainable Building to Meet EU 20-20-20 Targets, University of Minho, Technical University of Lisbon, iiSBE Portugal, Portugal, 167–174, 2013. **Proceedings...**
- BESSEN, P.; LEARDINI, P.; BOARIN, P. Passive Houses in New Zealand: a comparison between predicted and real performance through post-occupancy evaluation. In: South Pacific Passive House Conference 2017. 2017. **Proceedings...**
- CANDIDO, C. et al. BOSSA: A multidimensional post-occupancy evaluation tool. **Building Research & Information**, v. 44, n. 2, p. 214-228, 2016.
- DEUBLE, M. P.; DE DEAR, R. J. Is it hot in here or is it just me? Validating the post-occupancy evaluation. **Intelligent Buildings International**, v. 6, n. 2, p. 112-134, 2014.
- FILIPPÍN, C.; LARSEN, S. F.; MAREK, L. Experimental monitoring and post-occupancy evaluation of a non-domestic solar building in the central region of Argentina. **Energy and Buildings**, v. 92, p. 267-281, 2015.
- GOU, Z.; LAU, S. S.-L. Post-occupancy evaluation of the thermal environment in a green building. **Facilities**, v. 31, n. 7/8, p. 357-371, 2013.
- JONES, R. V.; GOODHEW, S.; DE WILDE, P. Measured indoor temperatures, thermal comfort and overheating risk: Post-occupancy evaluation of low energy houses in the UK. **Energy Procedia**, v. 88, p. 714-720, 2016.
- KHAMIDI, M. F.; WAHAB, S. N. A.; ZAHARI, N. M. Post occupancy evaluation (POE) and indoor environmental quality (IEQ) assessment: A case study of Universiti Teknologi Petronas new academic complex. **Journal of Design+ Built**, v. 6, 2013.
- KINNANE, O.; DYER, M. POST OCCUPANCY EVALUATION: A COST AND TIME EFFECTIVE METHODOLOG. **Energy for Sustainability**, 2013.
- KISHNANI, N. et al. Post-occupancy evaluation of green mark-rated buildings in Singapore. In: World sustainable buildings 2014, sustainable building: Results are we moving as quickly as we should? Its up to us, p. 28-30, 2014. **Proceedings...** Green Building Council Spain.
- LAWRENCE, R.; KEIME, C. Bridging the gap between energy and comfort: Post-occupancy evaluation of two higher-education buildings in Sheffield. **Energy and Buildings**, v. 130, p. 651-666, 2016.
- PRETLOVE, S.; KADE, S. Post occupancy evaluation of social housing designed and built to Code for Sustainable Homes levels 3, 4 and 5. **Energy and Buildings**, v. 110, p. 120-134, 2016.
- SANNI-ANIBIRE, M. O.; HASSANAIN, M. A.; AL-HAMMAD, A.-M. Holistic postoccupancy evaluation framework for campus residential housing facilities. **Journal of Performance of Constructed Facilities**, v. 30, n. 5, p. 04016026, 2016.
- SHANNON, A.; SINNOTT, D. Post occupancy evaluation of a low rise social housing complex following energy efficient retrofit project in Ireland. WEENTECH Proceedings in Energy GCESD 2015 24th-26th February 2015 Technology Park, Coventry University Coventry, United Kingdom, v. 24, p. 186, 2015.
- SILVA, M. F. et al. Post-occupancy evaluation of residential buildings in Luxembourg with centralized and decentralized ventilation systems, focusing on indoor air quality (IAQ). Assessment by questionnaires and physical measurements. **Energy and Buildings**, v. 148, p. 119-127, 2017.
- STRELETS, K. et al. Post occupancy evaluation (POE) and energy conservation opportunities (ECOs) study for three facilities in SPbPU in Saint Petersburg. **Procedia engineering**, v. 165, p. 1568-1578, 2016.
- WOO, J. A systematic post-occupancy evaluation in green-rated high-rise office buildings. In: Architectural Research through to Practice: 48th International Conference of the Architectural Science Association, The Architectural Science Association, 695–706, 2014. **Proceedings...**

APÊNDICE D – EXEMPLO DE FOLHAS DE VERIFICAÇÃO

Data:	29/09/2018				
Cômodo:	DORMITÓRIO 1				
Subcritério:	TEMPERATURA INTERNA/ VARIAÇÃO		UMIDADE		
CICLO 1					
Medição (°C):		Horário:	Medição (%):		Horário:
1			1		
2			2		
3			3		
4			4		
5			5		
6			6		
7			7		
8			8		
9			9		
10			10		
CICLO 2					
Medição (°C):		Horário:	Medição (%):		Horário:
1			1	1	
2			2	2	
3			3	3	
4			4	4	
5			5	5	
6			6	6	
7			7	7	
8			8	8	
9			9	9	
10			10	10	
CICLO 3					
Medição (°C):		Horário:	Medição (%):		Horário:
1			1		
2			2		
3			3		
4			4		
5			5		
6			6		
7			7		
8			8		
9			9		
10			10		
Observações:					

FONTE: A autora (2019).

Data:	29/09/2018			
Cômodo:	DORMITÓRIO 1			
Subcritério:	CONFORTO ACÚSTICO			
CICLO 1 - MEDIÇÃO 1				
JANELAS FECHADAS			JANELAS ABERTAS	
Medição (dB):	Horário:	Medição (dB):	Horário:	
1		1		
2		2		
3		3		
4		4		
5		5		
6		6		
7		7		
8		8		
9		9		
10		10		
11		11		
12		12		
13		13		
14		14		
15		15		
16		16		
17		17		
18		18		
19		19		
20		20		
21		21		
22		22		
23		23		
24		24		
25		25		
26		26		
27		27		
28		28		
29		29		
30		30		
Observações:				

FONTE: A autora (2019).

Data:		29/09/2018			
Subcritério:		ILUMINAÇÃO NATURAL			
DORMITÓRIO 1			DORMITÓRIO 2		
CICLO 1					
Medição (lux):		Horário:	Medição (lux):		Horário:
1			1		
2			2		
3			3		
4			4		
5			5		
6			6		
7			7		
8			8		
9			9		
10			10		
DORMITÓRIO 1			DORMITÓRIO 2		
CICLO 2					
Medição (lux):		Horário:	Medição (lux):		Horário:
1			1		
2			2		
3			3		
4			4		
5			5		
6			6		
7			7		
8			8		
9			9		
10			10		
DORMITÓRIO 1			DORMITÓRIO 2		
CICLO 3					
Medição (lux):		Horário:	Medição (lux):		Horário:
1			1		
2			2		
3			3		
4			4		
5			5		
6			6		
7			7		
8			8		
9			9		
10			10		
Observações:					

FONTE: A autora (2019).

APÊNDICE E – COMPOSIÇÃO DAS PAREDES, PISOS E COBERTURA

TIPO DE PAREDE	COMPOSIÇÃO DA PAREDE	DIMENSÕES DAS CAMADAS	TOTAL
PAREDE EXTERNA	Textura acrílica (acabamento externo)	3mm	200 mm
	Argamassa cimentícia “base coat” (acabamento externo)	5mm	
	Placa cimentícia (acabamento externo)	8mm	
	OSB	9,5mm	
	Montante	38mm x 140mm (140mm)	
	OSB	9,5mm	
	Gesso para <i>drywall</i> (acabamento interno) – duas camadas de 12,5mm cada	25,0mm	
PAREDE INTERNA	Gesso para <i>drywall</i> (acabamento interno) – duas camadas de 12,5mm cada	25,0mm	158 mm
	OSB	9,5mm	
	Montante	38mm x 89mm (89mm)	
	OSB	9,5mm	
	Gesso para <i>drywall</i> (acabamento interno) – duas camadas de 12,5mm cada	25,0mm	
PAREDES INTERNAS DO BANHEIRO*	Gesso para <i>drywall</i> (acabamento externo ao banheiro) – duas camadas de 12,5mm cada	25,0mm	145,5 mm
	OSB	9,5mm	
	Montante	38mm x 89mm (89mm)	
	OSB	9,5mm	
	Gesso para <i>drywall</i> (acabamento interno)	12,5mm	
	Cerâmica	Variável	
PAREDE DE GEMINAÇÃO ENTRE QUARTOS*	Gesso para <i>drywall</i> (acabamento interno) – duas camadas de 12,5mm cada	25,0mm	209 mm
	OSB	9,5mm	
	Montante - 2 QUADROS	38mm x 140mm (140mm)	
	Lã de rocha	100 mm	
	OSB	9,5mm	
	Gesso para <i>drywall</i> (acabamento interno) – duas camadas de 12,5mm cada	25,0mm	
PAREDE DE GEMINAÇÃO*	Gesso para <i>drywall</i> (acabamento interno) – duas camadas de 12,5mm cada	25,0mm	209 mm
	OSB	9,5mm de espessura	
	Montante - 2 QUADROS	38mm x 140mm (140mm)	
	OSB	9,5mm	
	Gesso para <i>drywall</i> (acabamento interno) – duas camadas de 12,5mm cada	25,0mm	
ENTREPISO	Placas de piso cerâmico	10mm	328,3 mm
	Argamassa colante	5mm	
	Contrapiso cimentício	40mm	
	OSB	18,3mm (fechamento superior)	
	Montante	45mm x 190mm (190mm)	
	Espaçamento	40mm	
	Gesso para <i>drywall</i> (acabamento interno) – duas camadas de 12,5mm cada	25,0mm	
PISO PAVIMENTO TÉRREO	Piso cerâmico	10mm	135 mm
	Argamassa de assentamento	5mm	
	Radier de concreto	120mm	
	Telhas cerâmicas	20mm	
COBERTURA	Lã de vidro	100mm	145 mm
	Gesso para <i>drywall</i> (acabamento interno) – duas camadas de 12,5mm cada	25,0mm	

FONTE: A autora (2019).

APÊNDICE F – RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DO CRITÉRIO CONFORTO TÉRMICO

DORMITÓRIO 1								
CICLO 1			CICLO 2			CICLO 3		
Horário	Interna Termo higrômetro (°C)	Externa <i>Datalogger</i> (°C)	Horário	Interna Termo higrômetro (°C)	Externa <i>Datalogger</i> (°C)	Horário	Interna Termo higrômetro (°C)	Externa <i>Datalogger</i> (°C)
10:08	22,5	24,0	13:33	23,4	25,1	17:48	25,5	21,3
10:18	22,9	24,1	13:43	24,0	24,8	17:58	24,4	21,0
10:28	23,3	24,2	13:53	24,5	24,7	18:08	23,6	20,6
10:38	24,6	24,5	14:03	24,3	24,6	18:18	23,9	20,3
10:48	23,8	24,8	14:13	24,4	23,9	18:28	23,4	20,0
10:58	23,6	25,2	14:23	24,4	23,9	18:38	23,3	19,8
11:08	23,9	25,3	14:33	24,5	23,9	18:48	23,3	19,6
11:18	23,7	25,4	14:43	24,6	23,7	18:58	23,1	19,3
11:28	23,8	26,0	14:53	24,4	23,4	19:08	23,4	19,1
11:38	23,9	26,4	15:03	24,1	23,4	19:18	23,2	19,2
DORMITÓRIO 2								
CICLO 1			CICLO 2			CICLO 3		
Horário	Interna Termo higrômetro (°C)	Externa <i>Datalogger</i> (°C)	Horário	Interna Termo higrômetro (°C)	Externa <i>Datalogger</i> (°C)	Horário	Interna Termo higrômetro (°C)	Externa <i>Datalogger</i> (°C)
10:10	22,8	24,1	13:35	23,8	25,5	17:50	25,3	21,1
10:20	23,3	24,1	13:45	24,7	24,7	18:00	24,4	20,8
10:30	23,4	24,3	13:55	24,8	24,0	18:10	24,4	20,4
10:40	24,7	24,7	14:05	24,6	24,3	18:20	23,9	20,1
10:50	23,9	24,9	14:15	24,6	24,9	18:30	23,5	19,9
11:00	24,0	25,4	14:25	24,6	25,2	18:40	23,6	19,7
11:10	24,1	25,1	14:35	24,8	25,1	18:50	23,5	19,4
11:20	23,9	25,6	14:45	24,8	24,8	19:00	23,9	19,2
11:30	24,1	26,3	14:55	24,8	24,7	19:10	23,6	19,0
11:40	24,1	26,4	15:05	24,3	24,6	19:20	23,3	19,3
SALA								
CICLO 1			CICLO 2			CICLO 3		
Horário	Interna Termo higrômetro (°C)	Externa <i>Datalogger</i> (°C)	Horário	Interna Termo higrômetro (°C)	Externa <i>Datalogger</i> (°C)	Horário	Interna Termo higrômetro (°C)	Externa <i>Datalogger</i> (°C)
10:05	22,1	23,8	13:30	23,0	25,1	17:45	26,5	21,5
10:15	22,8	24,1	13:40	23,9	24,8	17:55	24,3	21,1
10:25	23,2	24,1	13:50	24,4	24,7	18:05	23,6	20,8
10:35	22,9	24,3	14:00	24,4	24,6	18:15	23,9	20,4
10:45	23,8	24,7	14:10	24,3	23,9	18:25	23,4	20,1
10:55	23,4	24,9	14:20	24,4	23,9	18:35	23,1	19,9
11:05	23,9	25,4	14:30	24,5	23,9	18:45	23,3	19,7
11:15	23,6	25,1	14:40	24,6	23,7	18:55	23,1	19,4
11:25	23,6	25,6	14:50	24,4	23,4	19:05	23,6	19,2
11:35	24,0	26,3	15:00	24,1	23,4	19:15	23,3	19,0

FONTE: A autora (2019).

APÊNDICE G – RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DE CONFORTO ACÚSTICO

RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DE CONFORTO ACÚSTICO – DORMITÓRIO 1

Dormitório 1	Ciclo	Aberturas	Medição	Horário inicial	Leituras (dB)	L_{Aeq} (dB)
	Ciclo 1	Fechadas	Medição 1	10:33:00	21, 27, 33, 29, 28, 28, 24, 29, 31, 24, 29, 27, 27, 28, 29, 27, 26, 26, 25, 31, 27, 24, 30, 21, 20, 23, 20, 24, 26, 26	27,4
		Fechadas	Medição 2	11:43:00	22, 24, 25, 21, 19, 26, 25, 26, 24, 24, 25, 25, 24, 24, 22, 19, 26, 23, 21, 22, 21, 24, 20, 22, 24, 25, 22, 20, 21, 23	23,4
		Abertas	Medição 1	12:24:00	43, 45, 41, 40, 43, 40, 45, 44, 40, 39, 41, 44, 42, 39, 39, 41, 40, 42, 43, 40, 43, 39, 44, 40, 44, 42, 40, 40, 41, 42	41,9
		Abertas	Medição 2	12:48:00	30, 39, 41, 43, 49, 40, 38, 39, 42, 39, 38, 48, 41, 42, 50, 39, 43, 42, 44, 42, 40, 40, 40, 37, 40, 40, 46, 39, 39, 42	42,8
	Ciclo 2	Fechadas	Medição 1	13:42:00	19, 22, 25, 25, 27, 26, 26, 24, 25, 30, 26, 27, 26, 25, 26, 26, 26, 25, 26, 28, 30, 27, 33, 33, 38, 27, 26, 33, 27, 28	29,0
		Fechadas	Medição 2	14:33:00	28, 36, 35, 35, 36, 34, 32, 34, 32, 30, 28, 32, 28, 28, 27, 26, 26, 26, 27, 26, 27, 28, 27, 24, 27, 26, 25, 28, 25, 25	30,6
		Abertas	Medição 1	15:09:00	46, 40, 41, 42, 43, 45, 41, 42, 41, 46, 42, 38, 42, 47, 41, 40, 42, 41, 43, 42, 41, 41, 42, 42, 45, 44, 42, 44, 46, 47	43,2
		Abertas	Medição 2	15:28:00	44, 42, 42, 41, 40, 40, 44, 48, 35, 48, 41, 42, 43, 40, 42, 43, 45, 42, 42, 43, 41, 44, 41, 46, 41, 41, 45, 45, 46, 48	43,7
	Ciclo 3	Fechadas	Medição 1	17:51:00	19, 23, 30, 24, 26, 26, 21, 23, 22, 26, 24, 25, 24, 30, 25, 24, 24, 25, 22, 25, 26, 23, 26, 30, 32, 29, 23, 28, 27, 27	26,3
		Fechadas	Medição 2	18:45:00	20, 22, 19, 17, 20, 20, 25, 20, 22, 24, 25, 26, 28, 29, 28, 32, 30, 32, 35, 34, 32, 34, 33, 32, 30, 29, 31, 26, 26, 22	29,3
		Abertas	Medição 1	19:23:00	40, 40, 41, 42, 41, 41, 43, 42, 41, 42, 42, 41, 42, 45, 43, 42, 41, 40, 42, 41, 49, 41, 46, 40, 44, 41, 42, 44, 47, 45	43,0
		Abertas	Medição 2	19:40:00	46, 48, 40, 41, 42, 41, 42, 48, 50, 48, 46, 43, 43, 41, 40, 40, 42, 45, 40, 39, 40, 42, 40, 41, 41, 41, 38, 40, 40, 42	43,6

FONTE: A autora (2019).

RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DE CONFORTO ACÚSTICO – DORMITÓRIO 2

Dormitório 2	Ciclo	Aberturas	Medição	Horário inicial	Leituras (dB)	L_{Aeq} (dB)
	Ciclo 1	Fechadas	Medição 1	10:41:00	25, 20, 22, 28, 23, 23, 23, 28, 27, 29, 27, 28, 27, 35, 33, 27, 24, 28, 21, 26, 26, 26, 26, 26, 29, 28, 23, 26, 33, 32	28,2
		Fechadas	Medição 2	11:50:00	30, 28, 33, 26, 25, 23, 24, 33, 28, 23, 30, 22, 24, 27, 27, 27, 31, 24, 24, 26, 28, 28, 27, 24, 25, 26, 24, 30, 23, 26	27,6
		Abertas	Medição 1	10:58:00	39, 46, 43, 43, 44, 42, 44, 43, 43, 42, 42, 44, 41, 42, 43, 45, 45, 43, 46, 46, 43, 45, 45, 44, 45, 43, 43, 42, 45, 45	43,8
		Abertas	Medição 2	12:30:00	46, 44, 46, 44, 45, 49, 45, 43, 44, 45, 44, 42, 43, 48, 41, 42, 41, 43, 44, 45, 45, 43, 44, 43, 44, 47, 43, 42, 45, 45	44,6
	Ciclo 2	Fechadas	Medição 1	13:55:00	30, 30, 29, 29, 32, 29, 29, 33, 32, 33, 30, 28, 29, 28, 29, 24, 30, 29, 32, 32, 32, 30, 31, 32, 33, 28, 28, 30, 30, 29	30,4
		Fechadas	Medição 2	14:45:00	28, 36, 29, 37, 36, 38, 30, 30, 30, 29, 30, 30, 35, 35, 34, 31, 32, 31, 31, 31, 31, 30, 32, 33, 30, 31, 30, 35, 30, 30	32,7
		Abertas	Medição 1	15:22:00	44, 45, 47, 45, 38, 47, 48, 44, 46, 45, 45, 44, 45, 45, 44, 44, 43, 44, 47, 45, 45, 46, 44, 46, 46, 46, 46, 48, 49, 48	45,7
		Abertas	Medição 2	15:35:00	45, 46, 42, 42, 45, 45, 45, 45, 45, 46, 48, 45, 47, 44, 42, 46, 44, 43, 51, 45, 51, 50, 45, 44, 47, 42, 45, 43, 51, 46	46,4
	Ciclo 3	Fechadas	Medição 1	18:04:00	26, 24, 24, 24, 23, 24, 22, 22, 22, 23, 17, 22, 23, 23, 22, 21, 22, 20, 25, 25, 23, 23, 21, 26, 23, 26, 30, 25, 24, 22	23,9
		Fechadas	Medição 2	18:52:00	18, 19, 18, 19, 22, 19, 17, 24, 19, 21, 22, 22, 19, 19, 19, 19, 19, 19, 20, 22, 22, 18, 25, 23, 22, 20, 21, 22, 23	20,8
		Abertas	Medição 1	18:28:00	39, 40, 42, 42, 41, 42, 45, 40, 42, 41, 42, 40, 40, 39, 40, 41, 43, 43, 43, 43, 43, 40, 40, 41, 41, 40, 41, 41, 40, 43	41,4
		Abertas	Medição 2	19:47:00	40, 44, 40, 43, 45, 41, 42, 43, 40, 40, 42, 42, 42, 40, 40, 39, 41, 39, 42, 40, 40, 41, 44, 43, 43, 42, 41, 42, 43, 44	41,9

FONTE: A autora (2019).

RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DE CONFORTO ACÚSTICO – SALA

Sala	Ciclo	Aberturas	Medição	Horário inicial	Leituras (dB)	L_{Aeq} (dB)
	Ciclo 1	Fechadas	Medição 1	10:52:00	23, 19, 19, 26, 24, 21, 29, 23, 24, 23, 24, 23, 24, 27, 24, 21, 23, 20, 27, 22, 23, 26, 25, 24, 26, 22, 20, 35, 25, 21	25,5
		Fechadas	Medição 2	12:01:00	33, 36, 32, 33, 29, 35, 27, 27, 30, 27, 32, 26, 30, 32, 33, 29, 22, 20, 22, 22, 25, 30, 21, 25, 20, 21, 22, 20, 26, 35	30,0
		Abertas	Medição 1	12:15:00	44, 46, 45, 46, 44, 45, 46, 49, 51, 52, 52, 52, 50, 52, 52, 53, 50, 49, 50, 52, 44, 46, 44, 43, 43, 44, 46, 41, 42, 41	48,7
		Abertas	Medição 2	12:37:00	45, 43, 46, 48, 46, 46, 44, 44, 48, 46, 45, 45, 45, 46, 46, 45, 48, 44, 45, 44, 46, 46, 45, 47, 45, 49, 53, 43, 44, 43	46,3
	Ciclo 2	Fechadas	Medição 1	12:32:00	30, 33, 27, 29, 36, 31, 25, 27, 23, 28, 25, 26, 30, 21, 29, 31, 29, 28, 28, 27, 31, 29, 23, 21, 26, 27, 26, 30, 29, 25	28,9
		Fechadas	Medição 2	14:26:00	18, 30, 29, 30, 28, 33, 30, 30, 28, 26, 25, 27, 27, 32, 30, 27, 29, 27, 30, 24, 34, 29, 31, 41, 28, 29, 39, 29, 29, 29	31,7
		Abertas	Medição 1	15:15:00	47, 49, 48, 47, 47, 48, 47, 49, 47, 49, 48, 46, 46, 48, 47, 47, 49, 48, 53, 47, 46, 46, 47, 46, 46, 46, 44, 47, 50, 47	47,8
		Abertas	Medição 2	15:42:00	38, 45, 46, 41, 44, 43, 47, 45, 46, 44, 45, 50, 54, 53, 48, 48, 45, 43, 48, 44, 47, 52, 50, 48, 45, 43, 46, 45, 46, 45	47,5
	Ciclo 3	Fechadas	Medição 1	17:45:00	40, 35, 28, 28, 29, 35, 24, 32, 33, 30, 33, 28, 28, 32, 26, 27, 26, 26, 24, 25, 23, 26, 29, 24, 26, 25, 24, 30, 28, 27	30,7
		Fechadas	Medição 2	18:36:00	33, 22, 24, 26, 34, 25, 22, 22, 26, 26, 27, 19, 25, 25, 26, 27, 26, 24, 26, 25, 28, 27, 27, 26, 25, 25, 23, 22, 24, 22	26,6
		Abertas	Medição 1	19:18:00	44, 50, 46, 44, 43, 44, 43, 45, 46, 44, 44, 45, 44, 46, 46, 45, 43, 46, 44, 44, 44, 44, 44, 44, 46, 47, 52, 47, 49, 48	46,0
		Abertas	Medição 2	19:33:00	43, 46, 45, 46, 45, 47, 45, 49, 45, 46, 45, 44, 43, 42, 44, 45, 44, 43, 44, 45, 44, 43, 43, 42, 42, 42, 45, 44, 44, 45	44,6

FONTE: A autora (2019).

RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DE CONFORTO ACÚSTICO – HALL DE ENTRADA

Hall de entrada	Ciclo	Local	Medição	Horário inicial	Leituras (dB)	L_{Aeq} (dB)
	Ciclo 1	Externo	Medição 1	10:15:00	52, 52, 54, 54, 51, 52, 53, 53, 51, 52, 54, 56, 53, 56, 56, 54, 52, 53, 53, 55, 55, 55, 55, 55, 55, 53, 54, 56, 56	54,1
			Medição 2	11:16:00	56, 53, 55, 50, 52, 53, 54, 53, 52, 52, 54, 53, 52, 53, 54, 55, 51, 53, 52, 51, 51, 50, 52, 53, 50, 52, 54, 54, 52, 52	52,9
	Ciclo 2	Externo	Medição 1	14:04:00	59, 54, 55, 56, 55, 53, 51, 52, 53, 56, 56, 53, 54, 53, 54, 55, 52, 54, 55, 55, 53, 54, 54, 55, 53, 53, 55, 54, 53, 52	54,3
			Medição 2	14:56:00	54, 52, 51, 52, 53, 54, 55, 57, 53, 58, 60, 55, 55, 59, 56, 53, 51, 54, 52, 54, 56, 60, 52, 56, 52, 54, 52, 54, 55, 54	55,2
	Ciclo 3	Externo	Medição 1	18:13:00	53, 54, 53, 53, 54, 54, 52, 53, 54, 52, 54, 53, 56, 54, 54, 55, 55, 54, 56, 56, 56, 55, 57, 58, 54, 56, 54, 55, 54, 53	54,6
			Medição 2	18:24:00	54, 55, 57, 58, 56, 55, 54, 56, 53, 55, 54, 54, 58, 59, 54, 56, 54, 57, 55, 55, 54, 54, 54, 54, 54, 53, 55, 55, 56, 56	55,4

FONTE: A autora (2019).

RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DE CONFORTO ACÚSTICO – PONTO EXTERNO

Ponto externo	Ciclo	Local	Medição	Horário inicial	Leituras (dB)	L_{Aeq} (dB)
	Ciclo 1	Externo	Medição 1	10:22:00	54, 55, 54, 57, 55, 56, 55, 54, 55, 56, 55, 55, 55, 56, 56, 51, 56, 57, 58, 55, 56, 56, 57, 53, 54, 55, 58, 56, 56, 56	55,6
			Medição 2	11:23:00	57, 59, 56, 58, 55, 63, 55, 55, 57, 57, 56, 54, 60, 60, 57, 60, 56, 53, 54, 54, 55, 56, 56, 56, 55, 57, 56, 55, 53, 53	57,0
	Ciclo 2	Externo	Medição 1	14:10:00	55, 57, 56, 56, 56, 57, 56, 55, 55, 55, 56, 56, 55, 55, 54, 57, 56, 54, 54, 55, 56, 56, 57, 57, 60, 58, 59, 59, 58, 56	56,5
			Medição 2	15:02:00	55, 61, 54, 57, 61, 58, 56, 57, 56, 56, 56, 55, 54, 55, 57, 55, 55, 56, 56, 57, 56, 56, 56, 55, 54, 56, 58, 56, 60, 56	56,8
	Ciclo 3	Externo	Medição 1	18:18:00	67, 59, 59, 62, 67, 62, 61, 60, 71, 61, 62, 60, 60, 61, 58, 59, 59, 60, 58, 61, 61, 62, 64, 61, 67, 70, 68, 64, 57, 56	63,8
			Medição 2	18:29:00	56, 56, 57, 58, 58, 57, 57, 59, 57, 58, 58, 61, 58, 60, 60, 58, 57, 57, 58, 57, 58, 57, 61, 56, 56, 59, 58, 57, 56, 58	58,0

FONTE: A autora (2019).

APÊNDICE H – RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DE ILUMINAÇÃO NATURAL

RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DE ILUMINAÇÃO NATURAL

	CICLO 1			CICLO 2		
	Horário:	Medição (lux):	FLD (%):	Horário:	Medição (lux):	FLD (%):
ÁREA DE SERVIÇO	10:03	1900	18	13:30	1480	36,9
	10:13	1792	16,2	13:40	1956	33,7
	10:23	2442	20,4	13:50	1584	35,2
	10:33	1728	27,7	14:00	1478	48,8
	10:43	1682	30,4	14:10	1502	34
	10:53	1807	19,5	14:20	1360	34,3
	11:03	2100	20,2	14:30	1517	48,5
	11:13	1972	22	14:40	1465	40,6
	11:23	1761	23,7	14:50	1642	37,3
	11:33	1783	29,1	15:00	1655	40,4
COZINHA	Horário:	Medição (lux):	FLD (%):	Horário:	Medição (lux):	FLD (%):
	10:05	360	3,3	13:32	502	12,5
	10:15	468	4,1	13:42	650	11,2
	10:25	491	5,4	13:52	550	12,2
	10:35	506	8,6	14:02	496	16,4
	10:45	508	6,9	14:12	451	10,2
	10:55	518	5,3	14:22	390	9,8
	11:05	555	5,7	14:32	442	14,1
	11:15	497	6,1	14:42	416	11,5
	11:25	561	8,3	14:52	475	10,8
	11:35	503	8,1	15:02	506	12,3
SALA	Horário:	Medição (lux):	FLD (%):	Horário:	Medição (lux):	FLD (%):
	10:07	800	7,2	13:34	1527	31,1
	10:17	830	6,9	13:44	1660	32,2
	10:27	1051	16,9	13:54	1330	35,3
	10:37	1108	20	14:04	1130	30,3
	10:47	1040	11,2	14:14	1331	31,8
	10:57	1218	11,7	14:24	1168	33
	11:07	1266	14,1	14:34	1126	33,5
	11:17	1139	15,4	14:44	1260	31,5
	11:27	1264	20,6	14:54	1387	32,6
	11:37	1198	19,2	15:04	1482	34,9
DORMITÓRIO 1	Horário:	Medição (lux):	FLD (%):	Horário:	Medição (lux):	FLD (%):
	10:08	3453	31,3	13:36	2821	48,6
	10:18	3640	30,4	13:46	4040	89,8
	10:28	5240	84,1	13:56	3050	100,0
	10:38	3940	71,1	14:06	2628	59,5
	10:48	2912	31,4	14:16	2580	65,2
	10:58	6390	61,4	14:26	2083	66,6
	11:08	4100	45,8	14:36	2081	57,7
	11:18	4660	62,8	14:46	2827	64,3
	11:28	4260	69,5	14:56	2500	61
	11:38	3933	62,9	15:06	2543	57,8
DORMITÓRIO 2	Horário:	Medição (lux):	FLD (%):	Horário:	Medição (lux):	FLD (%):
	10:09	2406	21,8	13:37	2355	40,6
	10:19	2220	18,6	13:47	2000	44,4
	10:29	2730	43,8	13:57	1780	58,7
	10:39	2330	42,1	14:07	1675	37,9
	10:49	2333	25,2	14:17	1855	46,8
	10:59	2234	21,5	14:27	1460	46,7
	11:09	2620	29,3	14:37	2013	55,9
	11:19	1980	26,7	14:47	1880	42,7
	11:29	2374	38,7	14:57	2108	51,4
	11:39	2154	34,5	15:07	1866	42,4

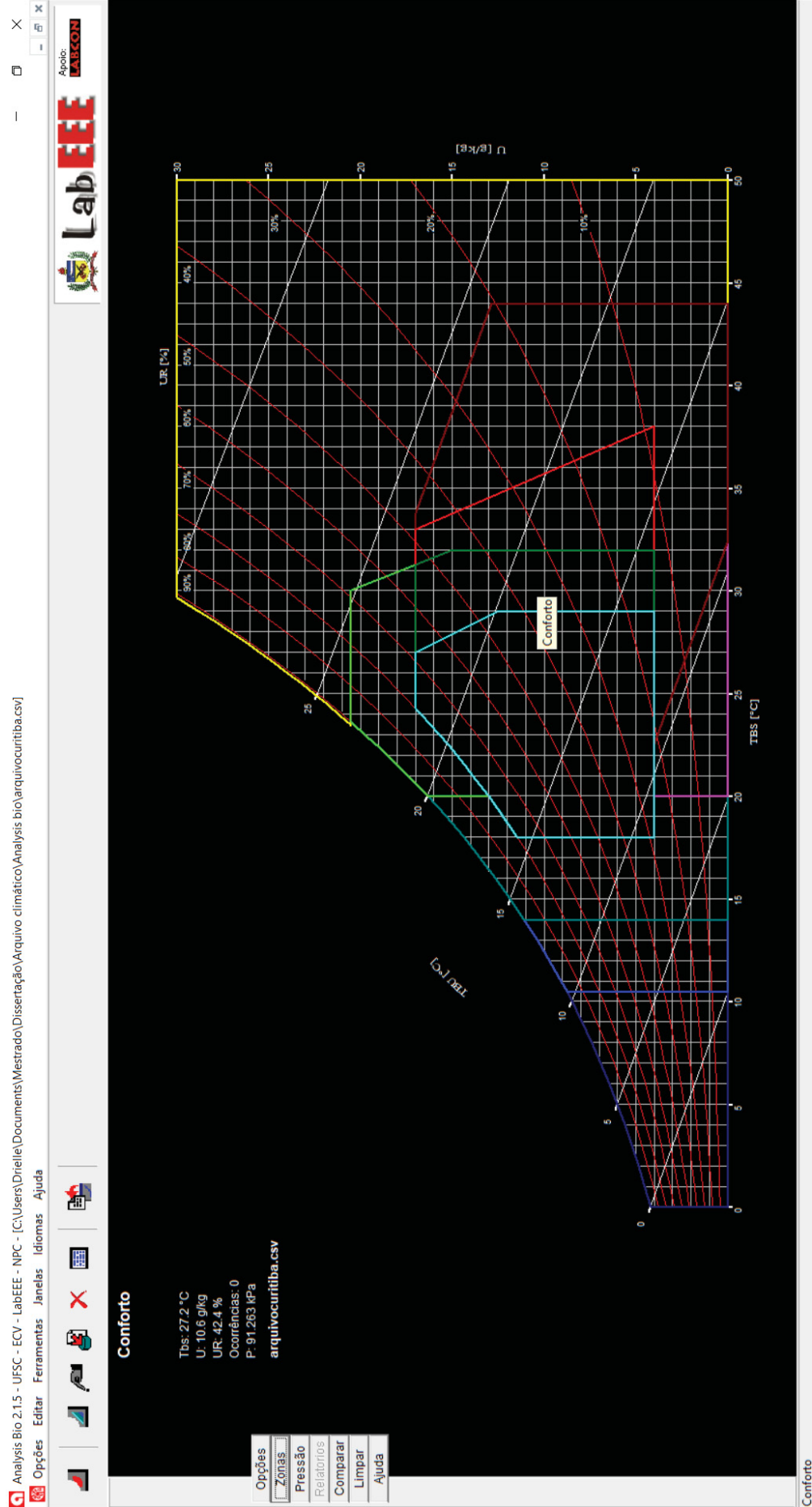
FONTE: A autora (2019).

APÊNDICE I – RESULTADOS DE UMIDADE RELATIVA DO AR E TEMPERATURA INTERNA

DORMITÓRIO 1								
CICLO 1			CICLO 2			CICLO 3		
Horário	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Horário	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Horário	Temperatura (°C)	Umidade (%)
10:08	22,5	70	13:33	23,4	66	17:48	25,5	62
10:18	22,9	67	13:43	24,0	64	17:58	24,4	65
10:28	23,3	65	13:53	24,5	64	18:08	23,6	67
10:38	24,6	64	14:03	24,3	64	18:18	23,9	66
10:48	23,8	64	14:13	24,4	64	18:28	23,4	67
10:58	23,6	65	14:23	24,4	64	18:38	23,3	68
11:08	23,9	64	14:33	24,5	64	18:48	23,3	68
11:18	23,7	63	14:43	24,6	65	18:58	23,1	68
11:28	23,8	63	14:53	24,4	65	19:08	23,4	68
11:38	23,9	63	15:03	24,1	65	19:18	23,2	68
DORMITÓRIO 2								
CICLO 1			CICLO 2			CICLO 3		
Horário	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Horário	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Horário	Temperatura (°C)	Umidade (%)
10:10	22,8	67	13:35	23,8	65	17:50	25,3	63
10:20	23,3	67	13:45	24,7	64	18:00	24,4	66
10:30	23,4	65	13:55	24,8	64	18:10	24,4	67
10:40	24,7	62	14:05	24,6	64	18:20	23,9	67
10:50	23,9	64	14:15	24,6	64	18:30	23,5	67
11:00	24	65	14:25	24,6	64	18:40	23,6	68
11:10	24,1	64	14:35	24,8	65	18:50	23,5	68
11:20	23,9	64	14:45	24,8	65	19:00	23,9	69
11:30	24,1	64	14:55	24,8	65	19:10	23,6	68
11:40	24,1	64	15:05	24,3	65	19:20	23,3	69
SALA								
CICLO 1			CICLO 2			CICLO 3		
Horário	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Horário	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Horário	Temperatura (°C)	Umidade (%)
10:05	22,1	71	13:30	23,0	65	17:45	26,5	63
10:15	22,8	68	13:40	23,9	65	17:55	24,3	65
10:25	23,2	66	13:50	24,4	63	18:05	23,6	66
10:35	22,9	65	14:00	24,4	64	18:15	23,9	66
10:45	23,8	63	14:10	24,3	64	18:25	23,4	67
10:55	23,4	65	14:20	24,4	64	18:35	23,1	68
11:05	23,9	65	14:30	24,5	65	18:45	23,3	68
11:15	23,6	63	14:40	24,6	65	18:55	23,1	68
11:25	23,6	64	14:50	24,4	65	19:05	23,6	68
11:35	24,0	64	15:00	24,1	65	19:15	23,3	68

FONTE: A autora (2019).

APÊNDICE J – INTERFACE ANALYSIS BIO (LABEEEE)



APÊNDICE K – TABELA DE FERRAMENTAS UTILIZADAS

FERRAMENTA	VERSÃO
Revit	2019
SketchUp Pro	2017
OpenStudio	2.7.0
EnergyPlus	9.0.1
DIALux evo	8.1
Analysis Bio (LabEEE)	2.1.5

FONTE: A autora (2019).

APÊNDICE L – COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DAS MEDIÇÕES *IN LOCO* E SIMULAÇÕES DO CRITÉRIO CONFORTO TÉRMICO

DORMITÓRIO 1								
CICLO 1			CICLO 2			CICLO 3		
Horário	Interna Termo higrômetro (°C)	Simulação (°C)	Horário	Interna Termo higrômetro (°C)	Simulação (°C)	Horário	Interna Termo higrômetro (°C)	Simulação (°C)
10:08	22,5	24,25	13:33	23,4	25,24	17:48	25,5	25,41
10:18	22,9	24,30	13:43	24,0	25,28	17:58	24,4	25,39
10:28	23,3	24,35	13:53	24,5	25,31	18:08	23,6	25,37
10:38	24,6	24,40	14:03	24,3	25,33	18:18	23,9	25,31
10:48	23,8	24,45	14:13	24,4	25,35	18:28	23,4	25,24
10:58	23,6	24,51	14:23	24,4	25,38	18:38	23,3	25,18
11:08	23,9	24,59	14:33	24,5	25,41	18:48	23,3	25,13
11:18	23,7	24,65	14:43	24,6	25,44	18:58	23,1	25,08
11:28	23,8	24,67	14:53	24,4	25,49	19:08	23,4	25,04
11:38	23,9	24,73	15:03	24,1	25,48	19:18	23,2	25,00
DORMITÓRIO 2								
CICLO 1			CICLO 2			CICLO 3		
Horário	Interna Termo higrômetro (°C)	Simulação (°C)	Horário	Interna Termo higrômetro (°C)	Simulação (°C)	Horário	Interna Termo higrômetro (°C)	Simulação (°C)
10:10	22,8	23,96	13:35	23,8	25,27	17:50	25,3	25,53
10:20	23,3	24,02	13:45	24,7	25,33	18:00	24,4	25,50
10:30	23,4	24,07	13:55	24,8	25,37	18:10	24,4	25,46
10:40	24,7	24,13	14:05	24,6	25,42	18:20	23,9	25,39
10:50	23,9	24,19	14:15	24,6	25,46	18:30	23,5	25,31
11:00	24,0	24,25	14:25	24,6	25,50	18:40	23,6	25,25
11:10	24,1	24,31	14:35	24,8	25,54	18:50	23,5	25,19
11:20	23,9	24,37	14:45	24,8	25,58	19:00	23,9	25,14
11:30	24,1	24,43	14:55	24,8	25,60	19:10	23,6	25,09
11:40	24,1	24,51	15:05	24,3	25,63	19:20	23,3	25,04
SALA								
CICLO 1			CICLO 2			CICLO 3		
Horário	Interna Termo higrômetro (°C)	Simulação (°C)	Horário	Interna Termo higrômetro (°C)	Simulação (°C)	Horário	Interna Termo higrômetro (°C)	Simulação (°C)
10:05	22,1	23,96	13:30	23,0	25,77	17:45	26,5	26,02
10:15	22,8	24,05	13:40	23,9	25,84	17:55	24,3	25,97
10:25	23,2	24,13	13:50	24,4	25,90	18:05	23,6	25,92
10:35	22,9	24,22	14:00	24,4	25,94	18:15	23,9	25,84
10:45	23,8	24,31	14:10	24,3	26,01	18:25	23,4	25,72
10:55	23,4	24,40	14:20	24,4	26,06	18:35	23,1	25,61
11:05	23,9	24,49	14:30	24,5	26,11	18:45	23,3	25,51
11:15	23,6	24,58	14:40	24,6	26,15	18:55	23,1	25,44
11:25	23,6	24,67	14:50	24,4	26,18	19:05	23,6	25,37
11:35	24,0	24,77	15:00	24,1	26,21	19:15	23,3	25,30

FONTE: A autora (2019).